

博士論文 平成 25 (2013) 年度

サイバー空間と実空間を統合した
実時間イベントアーキテクチャの構築

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科

工藤紀篤

サイバー空間と実空間を統合した
実時間イベントアーキテクチャの構築

インターネットの広帯域化や実空間情報のサイバー空間での共有により、参加者が複数実空間に分散する実時間イベントが可能となり多くの試みがおこなわれている。しかしその多くは、特定の要素技術を前提としていたり、環境を構築したオペレータ個人の経験に依存しているなど、持続性、安定性、再現性、拡張性に課題がある。また、サイバー空間での参加は、実空間での参加と比較して情報量が少なく、参加者間のコミュニケーションへの制約が多い。本研究では、これらの課題を解決し実時間イベントを体系的に整理する。

本研究では、実時間イベントが進行する実空間とインターネット上で展開するサイバー空間を統合するためのアーキテクチャ「CPARSE(Cyber Physical system Architecture for Real-time and Scalable Event)」を提案した。CPARSEでは、参加者間コミュニケーションと、実時間イベントのオペレーションを定義する。参加者の空間としてローカルスペース、プライマリスペース、リエゾンスペース、オートノマススペースの4つのスペースを定義し、参加者間のコミュニケーションと、実時間イベントのオペレーションを定義するオペレーションメタスペースを制御のためのスペースとして定義した。また、広義に定義されていた多様なメディアを「メディアエレメント」の集合として再定義することで、単一または複数のメディアエレメントを用いて実時間イベントに参加する参加者の、参加形態に応じたコミュニケーションメディアの実態を示すメディアを記述可能とした。

本研究では、CPARSEを適用した多くの実証実験において、インクリメンタルな開発とその評価をおこない正当性を実証した。クラシックコンサートの大規模共有や東日本大震災時の卒業式への遠隔参加では、複数メディアエレメントによる情報伝達により多様な参加形態へ対応し、ソーシャルメディアの一部を取り込んだメディアエレメントによるリエゾンスペースでは、多様なセマンティクスグループの参加者による実空間とは異なる新たなコミュニケーションを生み出した。これは、スマートテレビ等の次世代メディアの礎を実証する成果である。災害時の学校行事への遠隔参加は、情報社会時代の災害時における実時間イベントとして安全・安心社会への強力な提言となった。

本研究で提案したアーキテクチャによって可能となった実時間イベントの体系的な整理により、過去に実践されてきた実時間イベントの評価と課題の抽象化が可能となった。また、提案したアーキテクチャを応用して遠隔授業における様々な課題解決を継続しておこなっており、遠隔授業環境を基盤とする持続的で安定した大学間連携による教育プログラムの実現に貢献した。

Keywords :

1. 遠隔コミュニケーション, 2. サイバーフィジカルシステム, 3. ソーシャルメディア,
4. 実時間イベント

A Real-time Event Architecture to
Integrate Cyber and Real Spaces

With high speed Internet and advanced digital media technology, the real-time events involving participants from multiple physical locations become reality. However, most of such events often heavily depend on the specific technology, environment or operation staff's special knowledge and experience. Therefore, current real-time events have problems in sustainability, stability, reproducibility and scalability. Also amount of information shared during the event on the cyberspace is limited compared to the same event on real space. Because of limited information, communication on the cyberspace has restrictions. This research solves such problems by designing the architecture of the realtime event integrating both cyberspace and realspace.

This research proposes "CPARSE (Cyber Physical system Architecture for Real-time and Scalable Events)", an architecture to integrate real space and cyberspace. CPARSE defines communication among event participants and real-time event operation by using its 5 spaces; 1) local-space, 2) primary-space, 3) liaison-space and 4) autonomous-space, are defined for spaces for participants, and 5) operation-meta-space for the operation of the even and management of the communication among participants. Also, it re-defines a media element as a part of the media. Media element enables to describe a variety of participants' actual communication media usages.

In this research, the incremental development through many actual experiments using CPARSE and its evaluation proved the usefulness. The classical music concert experiment, which uses 3D video and high quality audio as media elements in primary space also uses a part of social media as a media element in liaison space, is a one of the examples of next generation media represented by smart TV. The graduation ceremony and related events right after the Great East Japan Earthquake on March 2011 became a powerful proposal for safe and worry-free society in the information society era in disaster situation. Moreover, the architecture proposed in this research enabled to evaluate past real-time events and abstracted problems from the evaluation. This result helped to improve the quality and operation of the distance learning environment connecting multiple classrooms significantly. It brought great success in inter-university education program based on the sustainable and stable distance lecture environment.

Keywords :

1. Distance Communication, 2. Cyber Physical System, 3.Social Media, 4.Real-time Event

Keio University , Graduate School of Media and Governance

Noriatsu Kudo

目次

第1章 序論	1
1.1 背景	1
1.1.1 メディアの発達と実時間イベント	1
1.1.2 本研究の背景	1
1.2 本研究の目的と期待される成果	2
1.3 本研究のアプローチ	2
1.4 本論文の構成	3
第2章 実時間イベントとイベント参加	4
2.1 実時間イベント	4
2.1.1 実時間イベントの分類	4
2.2 同一実空間内のコミュニケーションによる実時間イベント	4
2.2.1 ローカルコミュニケーション	4
2.2.2 ローカルコミュニケーションによる授業	4
2.2.3 同一実空間における実時間イベントの利点と欠点	5
2.3 実時間イベントを取り巻く変化	6
2.3.1 インターネットアクセス手段の発展と現状	6
2.3.2 インターネット接続デバイスとデータの増加とその活用	6
2.3.3 社会状況の変化	7
2.3.4 本研究の想定する環境	7
2.4 サイバー空間上のコミュニケーションによる実時間イベント	8
2.4.1 サイバー空間上のコミュニケーション	8
2.4.2 オペレーション	9
2.5 既存の取組とその課題	10
2.5.1 コンサートやスポーツの試合への遠隔参加	10
2.5.2 テレプレゼンス	11
2.5.3 Second Life	12
2.5.4 MMORPG	13
2.5.5 ソーシャルメディア上の実時間イベント	14
2.6 既存の実時間イベントにおける課題のまとめ	14
2.6.1 コミュニケーション品質	15
2.6.2 参加者のグルーピング	15
2.6.3 実時間イベントオペレーション	15
2.7 まとめ	15

第3章	Cyber Physical Architecture for Realtime and Scalable Events	17
3.1	CPARSE の設計	17
3.2	CPARSE における参加者間のコミュニケーション	18
3.2.1	実時間イベントにおける人間の抽象化	18
3.2.2	同一実空間でのコミュニケーション	18
3.2.3	サイバー空間・複数実空間でのコミュニケーションとメディア	18
3.3	CPARSE の全体像	18
3.3.1	CPARSE を構成する空間 (スペース)	19
3.3.2	メディアとメディアエレメント	22
3.4	ローカルスペース	23
3.4.1	ローカルスペースの構成要素とコミュニケーション	23
3.4.2	ローカルスペースのオペレーション	23
3.5	プライマリスペース	24
3.5.1	プライマリスペースの構成要素とコミュニケーション	25
3.5.2	プライマリスペースのオペレーション	26
3.5.3	多様な参加者環境への対応	26
3.5.4	時刻	26
3.6	CPARSE におけるソーシャルメディア	28
3.6.1	プライマリスペース以外の情報共有	28
3.6.2	一般的なソーシャルメディアの定義	31
3.6.3	リアルタイム性の高いソーシャルメディア	32
3.6.4	本研究におけるソーシャルメディア	32
3.7	リエゾンスペース	33
3.7.1	リエゾンスペースの構成要素とコミュニケーションにおけるメディアエレメント	33
3.7.2	参加者のセマンティクスグループによるグルーピング	34
3.7.3	時刻	35
3.8	オートノマススペース	35
3.9	オペレーションメタスペース	36
3.9.1	オペレーションメタスペースの構成要素	36
3.9.2	デバイスとサービスのモデル化	37
3.9.3	オペレータとコントローラによるオペレーション	41
3.10	CPARSE と時間の流れ	44
3.10.1	イベント前	44
3.10.2	イベント中	44
3.10.3	イベント後	44
3.11	実時間イベントへの参加	44
3.11.1	実時間イベントと時間の関係	44
3.11.2	実時間イベントへの参加形態	45
3.11.3	セマンティクスグループ	49
3.12	本章のまとめ	49

第4章	実証実験：クラシックコンサートの大規模共有	50
4.1	本章の位置付け	50
4.2	実時間イベントの概要と目的	50
4.2.1	クラシックコンサートの概要	50
4.2.2	目的	50
4.2.3	課題	51
4.3	設計	52
4.3.1	設計要件	52
4.3.2	参加者の参加形態	52
4.3.3	ローカルスペースの設計	53
4.3.4	プライマリスペースの設計	55
4.3.5	リエゾンスペースの設計	56
4.3.6	オートノマススペースの設計	57
4.3.7	オペレーションメタスペース	57
4.4	実装	57
4.4.1	ローカルスペースの実装	57
4.4.2	プライマリスペースの実装	58
4.4.3	リエゾンスペースの実装	60
4.4.4	オペレーションメタスペース	60
4.5	評価	65
4.5.1	各スペースにおける参加者数	65
4.5.2	プライマリスペースのコミュニケーション品質	66
4.5.3	リエゾンスペースにおける多様なセマンティクスグループ	67
4.5.4	オペレーションメタスペース	72
4.5.5	オートノマススペース	72
4.6	まとめ	72
第5章	実証実験：学校行事への遠隔参加	74
5.1	本章の位置付け	74
5.2	実証実験の背景	74
5.2.1	東日本大震災と学校行事	74
5.2.2	目的	75
5.2.3	実時間イベント実施における課題	75
5.2.4	アプローチ	76
5.3	設計	76
5.3.1	設計方針	76
5.3.2	イベント概要	77
5.3.3	参加者の参加形態	78
5.3.4	ローカルスペースの設計	79
5.3.5	プライマリスペースの設計	80
5.3.6	リエゾンスペースの設計	80
5.3.7	オペレーションメタスペースの設計	81
5.3.8	オートノマススペースの設計	81

5.4	実装	81
5.4.1	ローカルスペースの実装	81
5.4.2	プライマリスペースの実装	82
5.4.3	リエゾンスペースの実装	84
5.4.4	オペレーションメタスペースの実装	84
5.5	評価	85
5.5.1	ローカルスペース	85
5.5.2	プライマリスペースとリエゾンスペースの参加者数	85
5.5.3	リエゾンスペース	86
5.5.4	多様な参加者セマンティクスグループ	87
5.5.5	オートノマススペース	89
5.5.6	オペレーションメタスペース	90
5.6	まとめ	90
第6章	実証実験：SFCにおける遠隔授業環境の変遷	91
6.1	SFCにおける遠隔授業の変遷	91
6.1.1	参加者からのフィードバック収集	91
6.1.2	プライマリスペースの変遷	91
6.1.3	リエゾンスペースの変遷	92
6.1.4	オートノマススペースの変遷	94
6.1.5	オペレーションメタスペースの変遷	94
6.1.6	まとめ	94
6.2	先端ITスペシャリスト育成プログラムにおける遠隔授業環境	97
6.2.1	概要	97
6.2.2	実証実験の背景	97
6.3	目的とアプローチ	98
6.4	設計	98
6.4.1	参加者の参加形態	98
6.4.2	実時間イベント全体の設計	98
6.4.3	ローカルスペースの設計	98
6.4.4	プライマリスペースの設計	100
6.4.5	オペレーションメタスペースの設計	100
6.5	実装	101
6.5.1	ローカルスペースの実装	101
6.5.2	プライマリスペースの実装	101
6.5.3	オペレーションメタスペースの実装	102
6.6	評価	102
6.6.1	ローカルスペースの評価	102
6.6.2	プライマリスペースの評価	103
6.6.3	オペレーションメタスペースの評価	104
6.7	まとめ	104

第 7 章 結論	105
7.1 サイバー空間と実空間の統合した実時間イベントの実現	105
7.1.1 サイバー空間と実空間の統合	105
7.1.2 実空間	105
7.1.3 サイバー空間	105
7.1.4 実空間からサイバー空間を統合	106
7.1.5 サイバー空間から実空間を統合	107
7.1.6 新たな実時間イベントの発生	108
7.2 サイバー空間と実空間の統合の意義	108
7.3 実時間イベントにおける CPARSE の活用	109
7.3.1 多様な参加形態	109
7.3.2 参加者の多様性	109
7.3.3 リエゾンスペースの活用	110
7.3.4 オートノマススペースの存在	110
7.3.5 オペレーションメタスペース	110
7.4 本研究の成果と結論	111
7.5 今後の課題	112
7.5.1 オペレーションの自動化	112
7.5.2 リエゾンスペースから実空間へのフィードバック	112
7.5.3 スケーラビリティ	113
7.5.4 本研究の応用	113
付 録 A 実時間イベント一覧	119
付 録 B 実証実験捕捉資料：クラシックコンサート	126
付 録 C 実証実験捕捉資料：学校行事への遠隔参加	133
付 録 D 実証実験捕捉資料：Mozilla 24 関連資料	134
付 録 E 遠隔授業の変遷：e!care ふじさわマルチアングル介護実習	135
付 録 F 遠隔授業の変遷：EBA Open Seminar	137
付 録 G 遠隔授業の変遷：先端 IT スペシャリスト育成プログラムにおける遠隔授業環境	138

目次

2.1	ローカルコミュニケーションによる同一実空間での授業例	5
2.2	サイバー空間上のコミュニケーション(ローカルコミュニケーション無し)	8
2.3	サイバー空間上のコミュニケーション(ローカルコミュニケーション有り)	9
2.4	実時間イベントオペレーション	10
2.5	テレプレゼンスシステム例	11
2.6	テレプレゼンスの限界	13
2.7	Second Life 上での実時間イベント例	13
3.1	CPARSE 全体図	21
3.2	ラジオ放送におけるメディアエレメント	24
3.3	ローカルスペースの構成要素	25
3.4	プライマリスペースの構成要素	25
3.5	プライマリスペースでの情報伝達	27
3.6	ニコニコ生放送における字幕例	28
3.7	ニコニコ生放送の CPARSE による表記	30
3.8	属性情報の共有例	30
3.9	リエゾンスペースにおけるグルーピング例	35
3.10	オペレーションメタスペースの構成要素とオペレーション範囲	36
3.11	サイバーフィジカルシステムによる抽象化	38
3.12	プロセッサによるプロセッシング例	40
3.13	アクチュエータによるフィードバック	41
3.14	コントローラによる実時間イベント中のオペレーション	43
4.1	クラシックコンサート実証実験全体図	54
4.2	プライマリスペースのメディアエレメント比較	61
4.3	クラシックコンサートにおけるオペレータとコントローラの実装	62
4.4	演奏会中における同時視聴者数とツイート数	65
4.5	第九演奏中の5分ごとのツイート数とその内容	68
4.6	演奏会中の5分ごとのツイート数とその内容	70
4.7	リエゾンスペースにおける参加者セマンティックスグループ(クラシックコンサート)	71
5.1	学校行事遠隔参加実証実験全体図	77
5.2	プライマリスペースにおけるメディアエレメントの実装	83
5.3	学校行事への遠隔参加におけるユーザインターフェースの実装	84
5.4	学校行事への遠隔参加におけるコントローラ実装例	85
5.5	参加者間で共有された写真例	87

5.6	リエゾンスペースにおける参加者セマンティックスグループ (学校行事)	88
5.7	まとめサイトにおけるツイート共有	89
6.1	プライマリスペースにおける遠隔授業の変遷	93
6.2	リエゾン・オートノマススペースにおける遠隔授業の変遷	95
6.3	オペレーションメタスペースにおける遠隔授業の変遷	96
6.4	先端 IT スペシャリスト育成プログラムにおける遠隔授業環境全体図	99
6.5	標準教室レイアウト	101
6.6	先端 IT スペシャリスト育成プログラムにおける遠隔制御と自動化	103
6.7	ping による機器への疎通監視	103
7.1	サイバー空間と実空間の統合	106
B.1	日吉パブリックビューイング会場における参加風景	126
B.2	3D 対応テレビによる 3D 視聴環境例	127
B.3	3D 対応スマートフォンでの 3D 視聴	128
B.4	24bit 96khz 高品質音声による参加	128
B.5	Ustream を用いたプライマリスペースとリエゾンスペースでの参加例	129
B.6	プライマリメディアに関する参加者のツイート	129
B.7	演奏会中のオートノマススペースの利用	130
B.8	休憩時間の参加者による実際のツイート	130
B.9	品質や体験に関するツイート	131
B.10	オペレーションスペースとリエゾンスペースの係例	131
B.11	イベント中の参加者からのトラブル報告	132
B.12	オートノマススペースでのコミュニケーション：2ちゃんねるスレッド	132
C.1	遠隔授与	133
D.1	Mozilla 24 における Firefox の灯	134
E.1	マルチアングル介護実習	136
F.1	EBA Open Seminar における Facebook グループの利用	137
G.1	早稲田大学先端 IT スペシャリスト育成プログラム用教室	138
G.2	慶応大学矢上キャンパス 12-101 教室	139

表 目 次

3.1	メディアエレメント表記例	22
3.2	フィジカルセンサによるセンシング例	38
3.3	バーチャルセンサによるセンシング例	39
3.4	プロセッサの種類と役割	39
3.5	実時間イベントへの参加形態	45
4.1	演奏会場概要	58
4.2	パブリックビューイング会場概要	58
4.3	イベント参加者数	66
4.4	「#artsforall」における頻出 100 語	69
5.1	東日本大震災における首都圏大学の卒業式対応例	75
5.2	卒業式の代替イベント一覧	78
5.3	式次第	78
5.4	式典会場概要	81
5.5	各実時間イベント毎の参加者数	86
7.1	既存実時間イベント手段と本研究の比較	109

第1章 序論

1.1 背景

1.1.1 メディアの発達と実時間イベント

人間のコミュニケーション手段は、同一地点内での対面だけでなく電話、ラジオ、テレビ等の技術の進歩によって片方向や双方向、1対1や1対多等の様々な特性を持つメディアを用い物理的な制約を超えられるようになった。現在では少人数での会議から数万人を超えるコンサートやスポーツの試合まで規模や目的の異なる様々なイベントへ遠隔地から参加可能である。本研究では参加者が時間を共有するイベントを実時間イベントと定義し、複数の実空間を接続し複数実空間に分散するイベント参加者が時間を共有する実時間イベントを対象とする。

1.1.2 本研究の背景

慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス (SFC) では、日本におけるインターネットの黎明期からインターネット基盤技術の開発とその応用を各分野においておこなってきた。こうした活動の一つとして WIDE プロジェクトの School On Internet (SOI) Working Group は、高等教育における教員や授業資料等の教育リソースをインターネット上で広く共有する事を目指し 1997 年に活動を開始した。筆者は 2000 年より SOI をはじめとして、遠隔授業を中心とする実時間イベントをインターネット上で多数実施してきた。またその成果に基づいて設計した遠隔授業対応教室や遠隔授業支援体制は、キャンパスのインフラとして大学間連携や他大学との共同授業、研究者間のコラボレーションに活用されている。本研究は付録 A に示すこれら数多くの実時間イベントにおける拠点間の中継や大規模配信を通しておこなわれてきた。

実時間イベントにおいて用いられるメディア技術は、ブロードバンドインターネットの普及、PC や携帯デバイスの高性能化、各種ソフトウェアの発展等常に変化している。SFC において利用されてきた遠隔授業環境でも、利用するメディアの種類や品質は技術の進化とともに変化してきた。拠点間を接続する映像の解像度向上や PC 画面 (授業資料) の共有機能の実装等により遠隔授業環境はより臨場感が高いものとなっている。携帯端末やモバイルブロードバンド環境の普及により教室等の拠点間だけでなく出張先や移動中であっても授業や会議等に参加可能となっている。しかし複数実空間において共有される情報の種類やその品質が向上しても、遠隔地の学生が授業に集中しにくいと感じたり、教員が遠隔地の学生を指導しにくいと感じやすい。現在でも、遠隔授業は同一実空間内における対面での授業とは異なる環境である。授業だけでなくコンサートやスポーツ観戦においても、会場では他の参加者や演者との一体感を感じられテレビやインターネット上のストリーミング等のメディアを通じた視聴とは異なる参加形態である。スポーツファンの中には、自宅でのテレビ視聴よりもスポーツバーや大型ディスプレイを備えた会場で不特定多数の他者とのパブリックビューイングへの参加を好む者も多い。しかし、それぞれの参加手段は多くの場合分断されており実時間イベント全体を網羅した参加者間相互のコミュニケーション環境

1.2. 本研究の目的と期待される成果

はこれまで存在しなかった。

その一方で、近年のソーシャルメディアの普及やスマートフォン等の携帯端末の高機能化により、実空間における活動が実時間でサイバー空間上で共有可能となった。こうした環境において会場やパブリックビューイング会場等の実空間における参加者と片方向のストリーミングメディアを自宅で視聴する参加者等異なる参加形態の参加者が、サイバー空間（インターネット）上で同一のコミュニケーションツールを用いて交流する事も可能となった。ソーシャルメディアによるコミュニケーションはこれまで実時間イベントの運営とは独立しており、イベント主催者やオペレーションスタッフ側にその活用方法が蓄積されていなかった。Twitterによる実況等リアルタイム性の高いソーシャルメディアを通じた実時間イベントへの参加が一般的となるにつれ、テレビ会議システムやビデオストリーミング等個々の技術やメディアだけでなく、ソーシャルメディアも含め複数メディアが統合された現実の実時間イベント全体を管理できるアーキテクチャの必要性が高まっている。

1.2 本研究の目的と期待される成果

本研究では、イベントが進行する実空間とインターネット上で展開するサイバー空間を統合するためのアーキテクチャの提案により、実時間イベントにおける参加者間コミュニケーションとそのオペレーションを含む実時間イベント全体を体系的に整理する事を主目的とする。

インターネット上ではこれまで数多くの実時間イベントがおこなわれ、それぞれのイベント毎に目的や規模を考慮した多数のコミュニケーションシステムが構築されてきた。また片方向や双方向の映像や音声、文字列等のメディアが活用されて複数地点に分散するオペレータがそのオペレーションを担ってきた。しかし、こうしたコミュニケーションシステムは特定の要素技術に依存しており応用が難しかったり、特定のオペレータの持つノウハウに依存する事が多い。過去におこなわれた試みを活用し、今後おこなわれる新たな試みとの比較をするためにも本研究では実時間イベントにおける知見を体系化する。

また本研究では、体系化されたアーキテクチャを用いて、近年の実時間イベントを取り巻く環境の変化に対応しサイバー空間と実空間を統合する実時間イベントによる実証実験をおこないその有用性を示す。実時間イベントへの参加形態が多様化するに従い異なる参加形態間でのコミュニケーションが困難であったり、一部参加形態では実時間イベントであっても片方向メディアによる参加である等課題が多い。実空間におけるイベント参加とサイバー空間におけるイベント参加が異なる体験となる現状を解決するサイバー空間と実空間を統合した環境による実時間イベントを実現する。

本研究の成果により、サイバー空間と実空間を統合した実時間イベントに多様な参加形態で参加可能となる。実空間における実時間イベントがサイバー空間に拡張される事で会場の物理的制約や参加者の都合等のこれまで参加できなかった原因から解放される。サイバー空間でのコミュニケーションを前提とし複数実空間に分散するリソースを結合された大学間連携等、同一実空間では不可能な実時間イベントの企画が可能となる。

1.3 本研究のアプローチ

本研究では、新たな実時間イベントアーキテクチャCPARSE(Cyber Physical Architecture for Real time Scalable Events)の提案と、CPARSEを用いた実時間イベントのインクリメンタルな

実装により検証する。

本論文ではまず、既存の実時間イベント参加を分析しその課題を抽出する。同一実空間内における実時間イベントへの参加、片方向や双方向メディアを用いた実時間イベントへの遠隔参加など既存の実時間イベントについての現状と課題を関連研究や過去に実施した実時間イベントにおける経験から整理する。次にソーシャルメディアの現状について分析し、ソーシャルメディアの一般的な特性を整理した上で実際の実時間イベントにおける利用事例を通して分析をおこなう。

次に本研究が提案する実時間イベントアーキテクチャを設計する。実空間とサイバー空間が融合する環境における多様な参加形態による参加、要素技術に依存しないオペレーションシステム、ソーシャルメディアとの関係といった基本的な設計方針を定めアーキテクチャを構成する要素と要素間での情報の流れや制御など細部の設計をおこなう。

本研究では、設計したアーキテクチャにより実際の実時間イベントをおこない実証実験をおこなう。規模や目的の異なる複数の実時間イベントにおける実証実験を通し、インクリメンタルな開発と評価をおこなう事でアーキテクチャの正当性を検証した。本研究では、数千人以上による大規模なクラシックコンサートのインターネット配信や学校行事への遠隔参加、多地点遠隔授業などの数多くの実証実験を実施した。本論文ではそのうち(1)ベートーヴェンは凄い!全交響曲連続演奏会のインターネット配信、(2)2011年に実施した2010年度慶應義塾大学学部学位記授与式とSFC卒業式への遠隔参加、(3)慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科が実施した先端ITスペシャリスト育成プログラムにおける多地点遠隔授業における実装とその評価について議論し本アーキテクチャを検証する。

1.4 本論文の構成

本論文は7章から構成される。

第2章では、実時間イベントの定義と既存の実時間イベントにおける問題点の整理をおこなう。第3章では、本研究が提案する実時間イベントを実現する新しいアーキテクチャCPARSEを提案しその構成要素について述べる。第4章ではCPARSEを用いた実時間イベント実証実験として、クラシックコンサートの大規模共有について述べる。第5章ではCPARSEを用いた2つめの実証実験として学校行事への遠隔参加について述べる。第6章では、SFCにおける遠隔授業環境の変遷について述べ、CPARSEによる実時間イベントで得られた知見が次世代の設計に活用されるサイクルについて述べた後、実証実験として先端ITスペシャリスト育成プログラムにおける遠隔授業環境について述べる。第7章では結論として、本論文による貢献と今後の課題についてまとめる。

第2章 実時間イベントとイベント参加

2.1 実時間イベント

本研究では参加者が時間を共有するイベントを実時間イベントと定義する。

実時間イベントは、実空間もしくはサイバー空間から時間を共有しつつイベントに参加する参加者間のコミュニケーションの集合で成立する。

2.1.1 実時間イベントの分類

本研究では既存の実時間イベントを以下のように分類する。

- 同一実空間内のコミュニケーションによる実時間イベント
- サイバー空間上のコミュニケーションによる実時間イベント

本章では、それぞれの実時間イベントについて事例を交え既存の実時間イベントの課題を分析する。

2.2 同一実空間内のコミュニケーションによる実時間イベント

同一実空間内のコミュニケーションによる実時間イベントを、全参加者が同一地点（実空間）からイベントに参加し、参加者間のコミュニケーションが実空間内に閉じた実時間イベントと定義する。従って他の実空間やサイバー空間上の参加者は存在しない。

2.2.1 ローカルコミュニケーション

同一実空間における参加者間の対面によるコミュニケーションをローカルコミュニケーションと定義する。複数人が同一実空間にいる場合、その実空間上で発生するコミュニケーションは全てローカルコミュニケーションである。

ローカルコミュニケーションでは、同一実空間内に存在する情報が無意識のうちに共有される。従って参加者の姿（映像）や発言（音声）だけでなく実空間上のあらゆる情報に基づいたコミュニケーションが発生し、その様子が全参加者に共有される。

2.2.2 ローカルコミュニケーションによる授業

ローカルコミュニケーションの例として、図 2.1 に教室内での授業を示す。図 2.1 では、教員から学生への知識伝達を目的とし、教員による講義が発言とジェスチャを用いて実施されている。

図中左側の教員は、発言とジェスチャにより授業内容（知識）を図中右側の学生に伝える。こ

の時教室内で参加する学生の存在，学生からの視線，私語により発生するざわめき等のフィードバックを受けている．また図中赤点線で示すように教室内での互いの位置関係，板書，環境音等講義と直接関係ない情報も含めた大量の環境情報が全参加者間で共有されている．教員から学生への一方的な講義であっても学生からの非言語情報によるフィードバックは教員に学生の集中度や理解度を伝える．また複数学生の存在により生まれる教室内の熱気や緊迫した雰囲気は，学生の集中力維持にも役立つ．こうしたフィードバックを元に教員は必要に応じて，受講者の集中力維持や理解度向上を目的とした指名による発言や質疑応答の時間を設け効果的に授業運営をおこなうことができる．

ローカルコミュニケーションは，イベント参加者による発言やジェスチャだけでなく複数人でおこなうスポーツや協同作業も対象である．サッカーの試合ではボールや相手との接触，会食では同じ料理を食べる等その場でなければ不可能なコミュニケーションが存在する．ローカルコミュニケーションではこうした参加者間の直接的な接触も可能である．

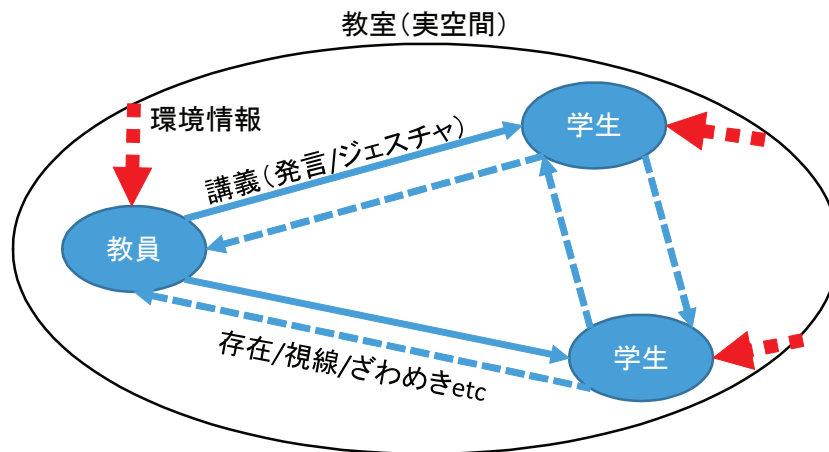


図 2.1: ローカルコミュニケーションによる同一実空間での授業例

2.2.3 同一実空間における実時間イベントの利点と欠点

ローカルコミュニケーションに基づく同一実空間における実時間イベントの利点は，実空間内で共有される情報を元にした言語・非言語コミュニケーションによるインタラクティブな環境が提供される点にある．

ローカルコミュニケーションの利点は，(1) 片方向的なコミュニケーションであっても相手からのフィードバックが得られる点，(2) 実時間イベントに参加しなければ得られないコンサートホールや試合会場での一体感や雰囲気の共有，(3) スポーツや協同作業，その場に集合しなければ実現しないコミュニケーション，を実現できる点である．

一方，全参加者が時間を共有し同一実空間で参加する実時間イベントの欠点は，その瞬間にその場にいない参加できない事に由来する以下の問題がある．

- 遠隔地から参加できない点
- 時間があわなければ参加できない点

2.3. 実時間イベントを取り巻く変化

- 会場の収容人数等の制約がある点
- 実現できないコミュニケーションが存在する点

遠隔地にいる場合や、実時間イベントを実施する時間にその場で参加できないと実時間イベントに参加できない。また同一実空間への集合には物理的な制約があり、会場の収容人数の制限により同時に参加可能な人数に制限が発生する。また同一実空間でなければ共有できない情報や参加者間の直接の接触を必要とするコミュニケーションも難しい。

こうした課題に対して、テレビ会議システムを用いた遠隔授業や遠隔会議、ストリーミングシステムを用いた動画配信等のサイバー空間上でのコミュニケーションを取り入れる試みが数多くおこなわれている。2.3節ではサイバー空間上でのコミュニケーションに利用される技術の現状、2.4節ではサイバー空間上のコミュニケーションによる実時間イベントについて述べる。

2.3 実時間イベントを取り巻く変化

ブロードバンドインターネットの普及や映像音声の圧縮技術の進化は、実時間イベントにインターネットを介したテレビ会議やライブストリーミングによる遠隔参加を可能にした。実時間イベントにおいて複数実空間を接続する技術は現在も、インターネットの広帯域化やワイヤレス技術の高速化、デバイスの小型化等の様々な分野で進化を続けている。本節では、関連技術の現状について述べると共に本研究が想定する環境について定義する。

2.3.1 インターネットアクセス手段の発展と現状

インターネットへのアクセス手段は、アナログモデムを用いた電話回線からDSLやFTTHへ変化し広帯域化している。2013年現在、日本国内ではほぼ全域においてブロードバンドインターネット接続が可能となり、モバイル環境でもLTEやWiMAX等のサービスが提供されブロードバンドインターネット接続が可能となっている [1]。

インターネットアクセスの広帯域化は、コミュニケーションに利用できるメディアを文字や静止画だけでなく音声や動画に拡大した。またモバイル環境でも同様に動画を含む多様なメディアが利用可能となっている。

2.3.2 インターネット接続デバイスとデータの増加とその活用

世界的なモバイルも含めたブロードバンドインターネット接続の普及により、インターネットに接続されるデバイス数も増加を続けており、生み出されるデータも増加傾向にある。Cisco社の調査によるとインターネットに接続されたデバイス数は2010年におよそ100億台であり、2016年にはおよそ190億台に増加すると予測されている [2]。この増加は、スマートフォンなどのモバイルデバイスや、実空間の情報を取得するセンサ類の増加によるものと予測されている。Internet of Things (IoT) やビッグデータといった用語に代表されるように、監視カメラ、温度計、雨量計、RFIDデバイスなど様々なデバイスが新たにインターネットに接続され、実空間における気象、物流、人間の位置や行動など多種多様なデータを生み出すことがインターネット上のデータを急増させている。特にモバイルデバイスの成長は著しく、2017年には現在の13倍にあたる134エクサバイトのデータがモバイルデバイスから生み出されインターネット上で流通する [3]。こうした実

空間 (フィジカルスペース) から取得した情報をサイバースペース上のコンピューティング能力で処理し、新たな価値を生み出すサイバーフィジカルシステム [4] への注目が高まっている。荷物や商品に付与された RFID と巨大なデータベースによる物流管理、温度計や雨量計、GPS により得られる情報とスーパーコンピュータでの処理による気象予測、車速や GPS センサなどの車両情報と地図情報を統合し得られる渋滞情報など多くの事例がすでに存在する。

ウェザーニューズ社によるゲリラ雷雨防衛隊の局地的な大雨予報サービス [5] では、局地的大雨が予想されるエリアに居住するウェザーニューズの有料会員へ、上空の雲の様子の撮影と、体感による気象状況をメールにより情報提供するよう依頼する。有料会員により観測された画像や体感報告、同社が設置する気象観測レーダーなどの情報によりゲリラ雷雨予報が生成される。ゲリラ雷雨防衛隊の事例では、メールによる指令の送信や会員による体感情報など人間と携帯電話の組み合わせがインターネットに接続されたセンサーとして活用されている。

2.3.3 社会状況の変化

H.323 や SIP といった標準技術の確立と製品低価格化、ブロードバンドインターネットの普及により複数拠点間を接続するテレビ会議や遠隔授業は企業や大学において幅広く利用されるようになった。企業においては出張コスト削減や災害時の自宅勤務、大学においてはキャンパス間接続による移動時間の削減、他大学や企業との共同授業による新たなカリキュラムが実現している。

また、会議室や教室等決められた拠点を接続するだけでなく、自宅や移動中でも個人単位で利用できる Web ベースのシステムやスマートフォンやタブレット端末向けのアプリケーションも充実している。2013 年現在、Cisco WebEX やブイキューブ社の v-cube ミーティング等の Web 会議システムも従来の会議室設置のテレビ会議と並行して利用され、個人単位での遠隔会議が一般化している [6]。またデスクトップ・モバイルを問わず多様な環境で利用できる Skype や LINE といった無料のコミュニケーションツールも普及しており、教育やビジネスだけでなく個人間のプライベートなコミュニケーションもサイバー空間上に存在している。また、利用されるコミュニケーションメディアの種類も多様化している。

2.3.4 本研究の想定する環境

本研究の想定する実時間イベントでは、イベント参加者はブロードバンドインターネット接続と PC、スマートフォン、タブレット端末等何らかのインターネット接続デバイスを利用できることとする。この環境において、参加者間での発言、ジェスチャ、私語等の実時間イベント中に発生するコミュニケーションをマイクやカメラ、もしくはスマートフォン等の何らかのセンサによりセンシングしサイバー空間上で共有する。

現在、一般的なビデオカメラやマイク等のセンサとなる機器は一部を除きインターネット接続デバイスではない。またディスプレイやスピーカなども、他の実空間から伝送されたデータを表示、再生するデバイスも同様である。本研究では、こうしたデバイスも将来的には全てインターネット接続され、実時間イベントに必要な様々な情報をデジタル化し共有できる事とする。

2.4 サイバー空間上のコミュニケーションによる実時間イベント

本研究では参加者間のコミュニケーションの一部または全部が、サイバー空間でおこなわれる実時間イベントをサイバー空間上のコミュニケーションによる実時間イベントとする。

本研究ではサイバー空間上の実時間イベントを、(1) 複数実空間の会場とサイバー空間の両方でコミュニケーションが発生する物、(2) 特定の実空間に会場を持たずサイバー空間上だけでコミュニケーションが発生する物に分類する。前者は複数人の参加者が集合し会場内でのローカルコミュニケーションとサイバー空間上のコミュニケーションが併用される形態、後者は参加者が個人で参加しローカルコミュニケーションが発生しない形態である。

2.4.1 サイバー空間上のコミュニケーション

ローカルコミュニケーションは遠隔の他の実空間とはおこなえない。よって他の実空間にいる参加者とのコミュニケーションには発言やジェスチャ等の内容を文字、音声、動画、静止画等のメディアとしてデジタル化しサイバー空間上で共有する。サイバー空間上では、ローカルコミュニケーションのように大量の情報を無制限に共有できない。実時間イベントの目的を達するために必要な一部の情報が映像や音声といったメディアにより共有できる。またボールや楽器や料理等の物理的オブジェクトも遠隔地では共有できない。

図 2.2 と図 2.3 に図 2.1 のローカルコミュニケーションをサイバー空間上で再現したものを示す。図 2.2 は全ての参加者が個人単位で参加しローカルコミュニケーションが無い形態、図 2.3 は一部の参加者が実空間に集合しローカルコミュニケーションを伴う形態である。

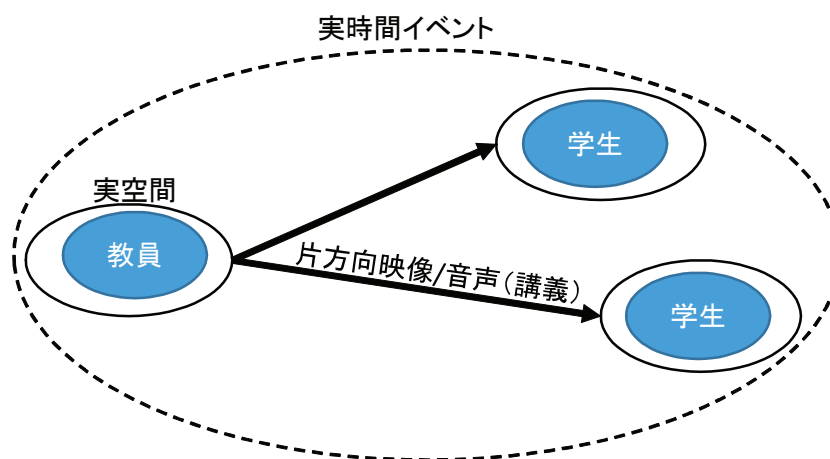


図 2.2: サイバー空間上のコミュニケーション (ローカルコミュニケーション無し)

図 2.2 では、図中左側の教員が右側の学生へ片方向の映像音声メディアを用いて授業をおこない知識を伝達する。教員はローカルコミュニケーション時と同様に発言とジェスチャにより授業をおこない、発言をデジタル化した音声メディアとジェスチャをデジタル化した映像メディアにより授業をサイバー空間上で共有する。しかし、ローカルコミュニケーションと異なり、(1) 教員や受講者の参加する実空間の環境情報や (2) 学生からのフィードバックは共有されない。従って、教

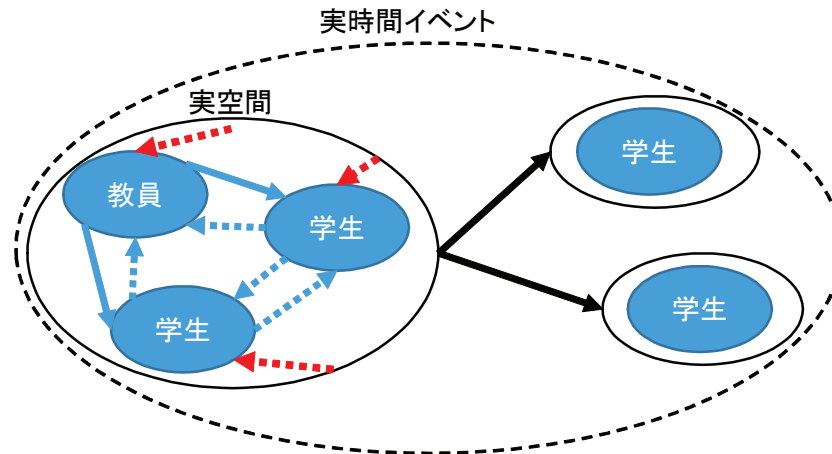


図 2.3: サイバー空間上のコミュニケーション(ローカルコミュニケーション有り)

員は受講者の理解度が把握しにくく質疑応答等のインタラクティブな授業運営は難しい。

図 2.3 は、同様に図中左側の教員による学生への授業で知識の伝達を目的とする。本事例では、図 2.2 と異なり教員と同一実空間(教室)にも学生がおり教室内とサイバー空間上の両方でコミュニケーションが発生する。教室内では教員と学生間でローカルコミュニケーションが発生し、学生からのフィードバックを得ながらの授業がおこなえる。サイバー空間上の学生は教員にフィードバックできないが、教室内の一部の学生の反応により教員は学生全体の理解度を推測でき教員にとっては授業しやすい環境である。

これらはサイバー空間上におけるコミュニケーションの一例であり、双方向メディアの利用や文字や静止画を共有するソーシャルメディアを活用する事で多種多様なコミュニケーションがサイバー空間上で実現する。

2.4.2 オペレーション

ローカルコミュニケーションとサイバー空間上のコミュニケーションの違いは、共有される情報量だけでなくオペレーションの有無も重要な点である。

同一実空間内で無意識のうちに共有される情報で成立するローカルコミュニケーションに対し、サイバー空間上のコミュニケーションではコミュニケーションに必要な情報の共有には何らかのオペレーションが必須である。実時間イベントのオペレーションとは、(1) コミュニケーション環境の設計、(2) 設計された環境の利用可能なリソースで構築する実装、(3) 実時間イベント中の監視と制御である。

図 2.4 に教員による授業が他の実空間にいる参加者に共有される実時間イベントのオペレーションを示す。この例では、教員がサイバー空間上のコミュニケーションにより他の実空間の学生へ授業をおこなう事例である。

図中左側の実空間内の教員をカメラで撮影し、テレビ会議システムによりサイバー空間上を経て図中右側の実空間のテレビ会議システムに共有し受信した映像をプロジェクタで投影する。図中右側の実空間から参加する学生はプロジェクタに投影される映像を用いて教員とコミュニケーションが実現している。

2.5. 既存の取組とその課題

この例では、まず設計として片方向の映像により教員の姿やジェスチャを共有し、次に実装方法として、教室を1台のカメラで撮影し、その映像をテレビ会議システムを用いて学生側の実空間のテレビ会議システムへ伝送しプロジェクタへ投影することとした。また実時間イベント中は教員側の実空間にカメラ操作を担当するオペレータを置き、教員の移動にあわせたカメラワークをおこなう。

こうしたオペレーションはサイバー空間上のコミュニケーションをおこなう上で必須である。

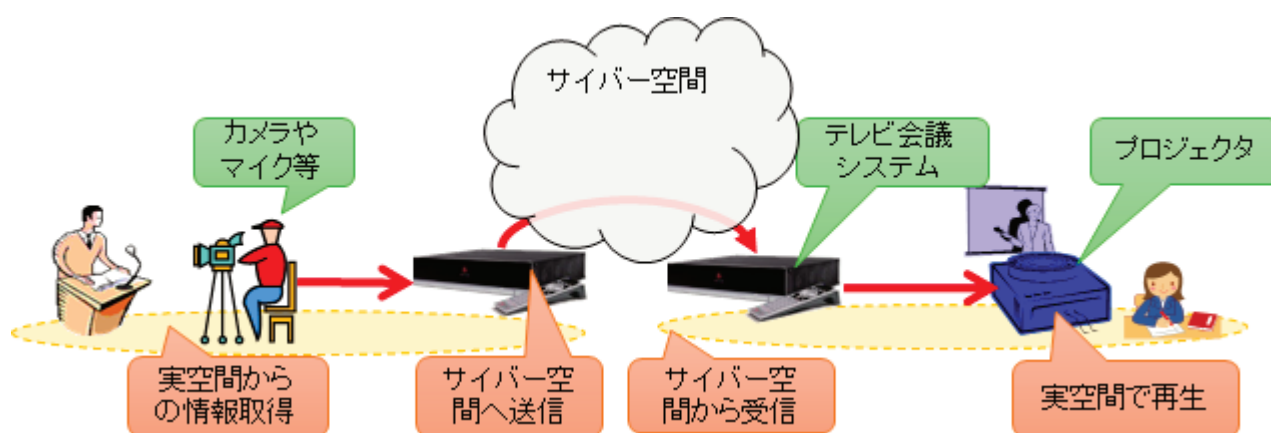


図 2.4: 実時間イベントオペレーション

2.5 既存の取組とその課題

本研究において解決する実時間イベントの課題を整理する。サイバー空間上のコミュニケーションによる実時間イベントの既存の取組を分析し、その課題を整理する。実空間の会場でローカルコミュニケーションが発生する実時間イベントとして、(1) コンサートやスポーツの試合への遠隔参加と、(2) テレプレゼンスを取り上げる。また実空間の会場を持たず参加者全員が個人で参加しローカルコミュニケーションの無い実時間イベントとして (3) Second Life, (4) MMORPG, (5) Twitter 上のコミュニケーションを取り上げる。

2.5.1 コンサートやスポーツの試合への遠隔参加

コンサートやスポーツの試合等、芸術や文化活動はインターネット以前からラジオやテレビといった放送メディアにより共有されてきた。インターネット上でも例えばクラシック音楽の配信は以前から数多くの試みがなされている [7][8]。

サイバー空間上でコンサートやスポーツの試合等の実空間の会場における実時間イベントを片方向映像音声メディアによりサイバー空間上で共有する利点は、会場の収容人数から解放され、多数のファンに演奏や試合を提供できる点にある。2010年に実施された宇多田ヒカルのライブでは会場となった横浜アリーナの定員およそ17000人に対してインターネット配信ではユニーク視聴者数で37万5000人がイベントに実時間で参加し、実空間の会場定員という制約を超えて多くのファンがライブへ参加した [9]。

しかし、MTM Londonが2010年に実施した調査では、オンライン（サイバー空間）における

芸術・文化コンテンツの視聴と会場での生での体験を比較した際、オンラインでの体験は生での体験に劣るとの回答が60%を占めている[10]。これは、サイバー空間上のコミュニケーションで情報共有に用いられる映像や音声等メディアの品質が、ローカルコミュニケーションでの本来の体験時と比較し劣る事が原因と考えられる。また、MTM Londonの調査では、オンラインでの視聴は他者とのソーシャルな体験に欠けるという課題も示している。これは自宅等での個人参加時には、会場参加のコンサート終了後に他の観客と一体となって拍手や歓声をあげる事や、終了後に同行者と感想やコメントを共有する事がないためオンラインでの体験を物足りなく感じる事が原因だと考えられる。スポーツ観戦でも自宅テレビでの視聴よりもパブリックビューイングイベントでの他者とのコミュニケーションを好む事例も同様である[11]。

2.5.2 テレプレゼンス

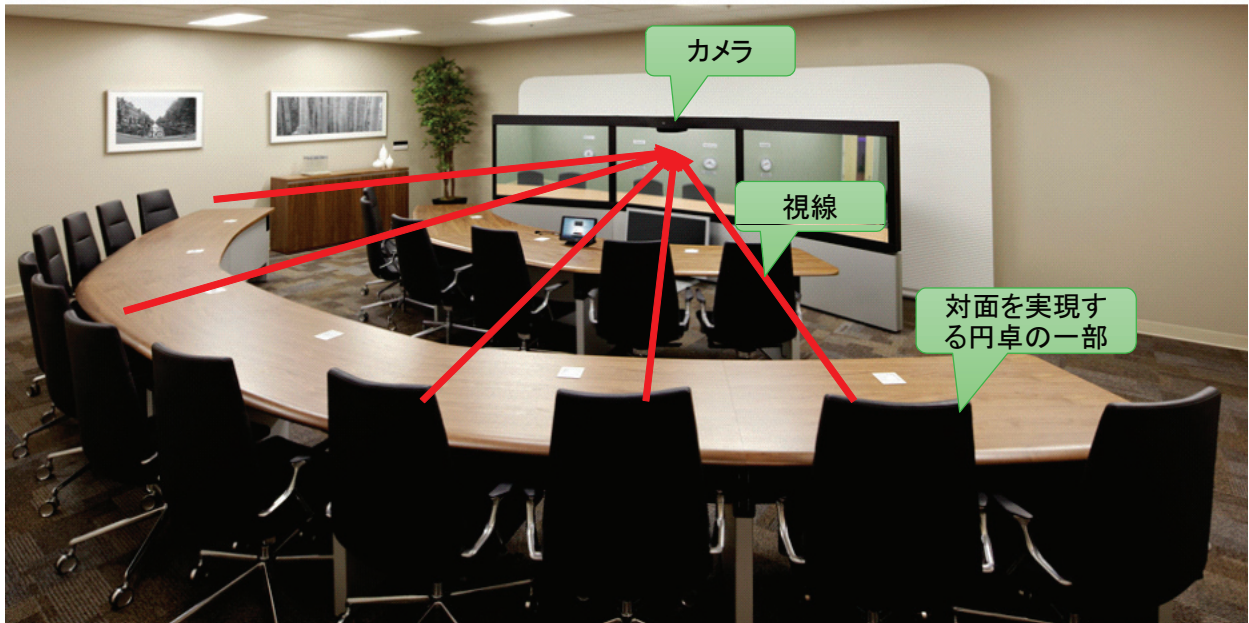


図 2.5: テレプレゼンスシステム例

サイバー空間上のコミュニケーション品質を高め2つの実空間を接続するシステムの代表例としてテレプレゼンスがあげられる。現在、Cisco[12],Polycom[13],等の企業から多くのテレプレゼンスシステムが販売されている。また、同様の取組としてCSCW(Computer Supported Cooperative Work)における少人数での協同作業環境や、高臨場感マルチメディア通信会議システムの構築[14]がおこなわれている。これらの取組では、高解像度高フレームレートの映像、サラウンドを含む高品質の音声を双方向に用いて2つの実空間を接続する。また、少人数での会議やディスカッション等に目的を限定し、視線の合致や人物映像を実寸で表示させ臨場感を高めている。

図 2.5 に Cisco 社の Cisco TelePresence TX9000 によるテレプレゼンスシステムを示す[15]。図中の3枚のモニタに解像度1080pの高解像度映像を複数連結表示し、接続先実空間の参加者を実寸表示する。また、視線を合致させるためモニタ中央に上部にカメラを設置し参加者がモニタ上の参加者へ視線を向けると、視線合致できる位置関係を実現する。また話者の映像と音声と同じ

2.5. 既存の取組とその課題

方向となるような機器や什器の統一により、サイバー空間を経て接続された遠隔地とのコミュニケーション環境をローカルコミュニケーションに近づけている。具体的には、遠隔参加者と同じ部屋の中で円卓を囲んでいる感覚が得られるよう壁、天井等の内装や机や椅子等の什器を統一し、画面上に表示される遠隔参加者映像は実寸大で表示できるよう、室内のカメラと着席位置また表示されるディスプレイサイズを統一している。また映像へ視線を向けると視線が合致するようカメラ位置が固定されている。この仕組みにより遠隔参加者と同一実空間の参加者が仮想的に円卓を囲み着席した状況を作り出している。音声は複数のマイクにより集音し、検知したマイクに応じて遠隔会場では映像内の話者の方向から音声を再生する。この工夫により、話者の特定が口の動きだけでなく音声の方向からも把握できるためローカルコミュニケーション同様の自然なコミュニケーションとなる。

図 2.6 はテレプレゼンスシステムを用いた 2 拠点間の会議である [16]。図中右側奥の発表者が 2 つの実空間に分散する参加者にプレゼンテーションをおこなう。テレプレゼンスでは対面で視線の合致したコミュニケーションのためモニタとカメラが同方向に設置される。この図では同一実空間内では視線の合致したローカルコミュニケーションが可能だが、接続先の実空間では発表者がカメラの死角となっており、発表者に視線を向けることができない。また、テレプレゼンスでは発話者の位置関係を再現できるが複数実空間で共有できる会話は単一である。ローカルコミュニケーションでは参加者を複数の小グループに分けたグループワークや隣人との私語が可能である。しかしテレプレゼンスでは複数実空間に分散する参加者を実空間をまたぐ複数グループに分割したグループ内での同時会話ができない。

2.5.3 Second Life

Second Life (<http://secondlife.com/>) は米国の Linden Lab 社の提供する仮想現実空間である。利用者は 3D で構成された世界の中でアバターと呼ばれる仮想的な自分のキャラクターを自由に操作し仮想現実空間の中で移動や他のアバター（他の参加者）との会話、買い物等、実空間同様の行動を再現できる。

Second Life 上の実時間イベントの例として、本研究では Accuras Languages Academies (ALA) を取り上げる。ALA では図 2.7 に示すような仮想教室での英語講座が試みられた。受講者は実空間の教室ではなく Second Life 上の仮想教室に決められた時間に集合し学習する。サイバー空間でのイベント参加のため参加者は自宅や勤務先等インターネット接続された PC があればどこからでも参加可能である。仮想教室内に集合し学習する参加者は仮想教室内を移動して他の参加者のアバターを見たり、チャットで話しかける等の実空間における教室に近い双方向のコミュニケーションが可能である。

Second Life 上での実時間イベント参加は、全ての参加者が実空間の会場を持たずに Second Life 内の仮想的な会場に集合し参加者全員が同一環境で参加する。これは会場でのローカルコミュニケーションが発生するコンサートやスポーツの試合のライブストリーミングや、テレビ会議やテレプレゼンスで接続された会議室間の環境と異なり全てのコミュニケーションがサイバー空間上でおこなわれる事を意味する。



図 2.6: テレプレゼンスの限界



図 2.7: Second Life 上での実時間イベント例

2.5.4 MMORPG

Massively Multiplayer Online Role-Playing Game は、多人数参加のオンラインゲームの一種である。オンラインのゲーム世界に複数の参加者（プレイヤー）が同時に参加し、会話やアイテムの交換取引等をおこないつつゲームを進行する。

2.6. 既存の実時間イベントにおける課題のまとめ

MMORPG ではゲーム内時間が存在し、プレイヤーがゲーム世界に参加していなくても時間が進行する。MMORPG 以外のオンラインゲームではプレイヤーがゲームを起動する毎にゲーム世界が構築されるが MMORPG ではゲーム内時間によりゲーム世界が管理されプレイヤーの有無を問わずゲーム世界内のイベントが発生する。特定プレイヤーの都合により時間を戻すことはできない。よって特定時刻に発生するイベントのため、プレイヤー同士が時刻を決めて集合しゲームをプレイする等実時間イベント的要素が生まれる。ゲーム世界の実時間イベントに参加する参加者は、PC やインターネット環境等ゲームが動作する環境であればどこからでも参加できるが Second Life 同様に時間を共有しなければならない。その代わりにゲーム世界内で同じ実時間イベントに参加する参加者のキャラクターとの協力やアイテム取引、チャット等を通じた双方向のコミュニケーションが実現できる。

MMORPG や Second Life は現実とは異なる世界感を構築しており、全ての実時間イベントに適した環境とは言い難い。特に MMORPG はゲームを楽しむための環境であり、ゲームとは無関係な他のゲームもしくは実空間での出来事について議論をする事を目的に利用するツールではなく汎用性に欠ける。

2.5.5 ソーシャルメディア上の実時間イベント

ソーシャルメディア上でも実時間イベントは存在する。

Twitter では新年を迎える元旦に「あめおめ」や「あけましておめでとう」等、大量の発言（ツイート）が発生する。2013 年元旦では毎秒 3 万 3,388 ツイートであった。日本では、一部のインターネットユーザが地上波テレビで「天空の城ラピュタ」の放映時に、主人公が「バルス」という台詞を発するタイミングで「バルス」というツイートをしたり掲示板へ書き込みをおこなう習慣がある。2013 年 8 月 2 日の放映時には毎秒 14 万 3,199 ツイートを記録した。これは Twitter 上での同時ツイート数では過去最大の数である [17]。

特定のコミュニケーション相手に向けた発言ではなく、新年のタイミングやテレビ放送にあわせてツイートし、実空間ではなくサイバー空間上の他のイベント参加者と共に新年を祝ったり同じ番組を同じタイミングで見る一体感やイベントへの参加感が得られる。しかし不特定多数の参加者により同時多発的に発生するこうした「祭り」は自律的におこなわれており通常の実時間イベントからコントロールする事が難しい場合が多い。

2.6 既存の実時間イベントにおける課題のまとめ

前節で述べたようにサイバー空間上には、参加者が時間を共有する実時間イベントが数多く存在する。しかし、サイバー空間上での参加より実空間での参加が満足度が高いことも多い。またそもそもサイバー空間では実現しないコミュニケーション形態も存在する。

本研究では、前節での議論からサイバー空間における実時間イベント参加における課題として (1) コミュニケーション品質、(2) 参加者のグルーピング、(3) 実時間イベントのオペレーションを取り上げる。

2.6.1 コミュニケーション品質

コンサートやスポーツの試合への遠隔参加事例で述べたように、サイバー空間上で利用される情報伝達メディアの品質はローカルコミュニケーションに及ばない。また、テレプレゼンスの事例で述べたように視線合致も特定環境以外では利用できない事がありサイバー空間上のコミュニケーション品質はローカルコミュニケーションに劣る事が多い。

実時間イベントの最大の特徴は、参加者が時間を共有する同期参加時に参加者間でのインタラクティブなコミュニケーションが可能な点である。しかし、片方向の放送型メディアを用いた実時間イベントでは参加者間でのこうしたコミュニケーションが全くできないものもある。

2.6.2 参加者のグルーピング

テレプレゼンスの事例で述べたように、複数実空間に分断された参加者を複数のグループに分割しそれぞれのグループでディスカッションをおこなう事は難しい。テレプレゼンスやテレビ会議システム、Web会議システムにおける音声コミュニケーションは同時に複数存在できない。また文字を使ったチャットが可能なSecond LifeやMMORPGは専用システムであり汎用性が低い。

同一実空間では個人間の会話やグループでのディスカッション等、参加者が移動する事で様々なグループが形成され、それぞれのグループ内でのコミュニケーションが可能である。しかし参加者がサイバー空間と実空間に分散したり、複数実空間に分散するとグループを編成できない。よって二者間での私語も実現しない。従って実時間イベントの参加者内で動的なグループを形成しグループ内でのコミュニケーションができる仕組みが必要である。

2.6.3 実時間イベントオペレーション

本章では、サイバー空間上のコミュニケーションにはオペレーションが必要である事を述べた。高品質なコミュニケーションによる実時間イベントはオペレーションコストが高くその軽減のための自動化や省力化が必要である。

本研究では、これまでに運用されてきた遠隔授業や各種イベントにおける中継やインターネット配信では、高品質映像の伝送や映像音声以外のコミュニケーション手段を提供し、参加者のコミュニケーション品質を高める取組もおこなってきた。しかし既存のテレビ会議システムのH.323やSIP等のような標準化には至っていない。その為、得られた知見はオペレータ個人のノウハウでしかなく他のオペレータでは再現できない。熟練しノウハウを持ったオペレータが他の実空間でオペレーションをおこなうオペレータに助言する等イベント中のオペレータ間のコミュニケーションも重要な要素だがテレビ会議システム等にそうした機能を持つ物はなくオペレーション上の課題である。

2.7 まとめ

本章では、参加者が時間を共有する実時間イベントについて参加者が同一実空間内に閉じたローカルコミュニケーション、異なる実空間から参加する参加者によるサイバー空間上でのコミュニケーション、両者の複合による実時間イベントについて分析し既存実時間イベント環境における課題について議論した。

2.7. まとめ

次章では本研究の提案するサイバー空間と実空間を統合する実時間イベントアーキテクチャについて述べる.

第3章 Cyber Physical Architecture for Realtime and Scalable Events

本章では、本研究が提案する新しい実時間イベントへの参加を実現するアーキテクチャCyber Physical Architecture for Realtime and Scalable Events (CPARSE) について述べる。まず CPARSE の設計方針について述べ、次に CPARSE を構成するスペース（空間）と実時間イベントへの参加形態について定義し、各スペースの詳細についてそれぞれ述べる。

3.1 CPARSE の設計

本研究では 2 章で述べた既存の実時間イベントにおける課題を解決する新たなアーキテクチャ CPARSE を提案し、サイバー空間と実空間の統合による新たな実時間イベントを実現する。以下に CPARSE の設計要件を示す。

- サイバー空間と実空間の統合による多様な参加形態での実時間イベント参加を実現すること
- サイバー空間上において実時間イベント参加者のグルーピングの実現とグループ内でのインタラクティブなコミュニケーションを実現できること
- 特定の要素技術に依存せず複数実空間/サイバー空間上に分散するあらゆるデバイス/サービスを連携できること
- 多様な規模/目的の実時間イベントへ対応すること

2 章で述べたようにインターネット接続において、スマートフォンやタブレット端末等の進化が進み、実時間イベントへの参加は実空間だけでなくサイバー空間における多種多様なメディアが利用可能である。CPARSE ではローカルコミュニケーションによる実空間でのインタラクティブなコミュニケーション環境と、サイバー空間上の多様なメディアを用いた参加を統合した実時間イベントを定義できることとする。

実空間とサイバー空間を統合した実時間イベントに多様な参加形態で参加する参加者間でインタラクティブなコミュニケーションを実現するため、サイバー空間上で実時間イベント参加者をグルーピングしグループ内でのコミュニケーションができる事とする。

参加者の多様な参加形態に対応するため特定の要素技術に依存せず複数技術の組合せや併用による実時間イベントに対応することとする。

また、特定の用途に特化せず規模の大小も含め様々な用途の実時間イベントに対応することとする。

3.2 CPARSEにおける参加者間のコミュニケーション

3.2.1 実時間イベントにおける人間の抽象化

まずCPARSEによる実時間イベントの登場人物を定義する。CPARSEによる実時間イベントにおける人間は「参加者」と「オペレータ」の2種類に分類する。オペレータは実時間イベントのオペレーションを担当する。

参加者は実時間イベント中にコミュニケーションに参加する主体である。参加者は実空間もしくはサイバー空間上から実時間イベントに参加する。参加者によるコミュニケーションは発言やジェスチャ等何らかのアクションにより発生する情報の共有により実現する。CPARSEでは講演者、演奏者、受講者といった役割により区別せず全て「参加者」として定義し多種多様な種類の実時間イベントへ対応する。「参加者」は実時間イベント中に以下のアクションをとる。

- Send (情報の発信)
- Receive (情報の受信)
- Send + Receive (情報の送受信)

Sendはコミュニケーションに必要な情報の発信、ReceiveはSendされた情報の受信である。Send + Receiveは同一実空間や双方向のテレビ会議システム等SendとReceiveが同時に可能な環境でのみ利用できる。またこれらのアクションは役割ではないため実時間イベント中の話者の変移等により動的に変化する。

3.2.2 同一実空間でのコミュニケーション

CPARSEにおける同一実空間内での参加者間コミュニケーションは、2章で述べたローカルコミュニケーションのモデルを用いる。同一実空間では、参加者は無意識のうちに互いの存在や発言内容、視線、表情、ジェスチャ等の無数の情報を相互に共有する。そして共有された情報を元にローカルコミュニケーションが成立する。

3.2.3 サイバー空間・複数実空間でのコミュニケーションとメディア

サイバー空間上ではローカルコミュニケーションは不可能である。よって、参加者間での情報共有には、テレビ会議や動画配信サービス等のメディアが用いられ、実空間の情報をデジタル化しサイバー空間上で共有する。

3.3 CPARSEの全体像

本研究が提案するアーキテクチャCPARSEは、5つのスペースとそれを構成するメディア、メディアエレメント、参加者、オペレータ等から構成される。

3.3.1 CPARSE を構成する空間（スペース）

CPARSE では実空間とサイバー空間を統合した実時間イベントを以下の 5 空間（スペース）により定義した。図 3.1 に CPARSE の全体像を示す。本節では各スペースの CPARSE における役割を定義する。

ローカルスペース

ローカルスペースは、教室や会議室といった会場を「実空間」、実時間イベント中の教員、学生、聴講者、演奏者等を「参加者」と定義し、実空間における参加者間のコミュニケーションをモデル化する。これは 2 章で述べたローカルコミュニケーションにあたる。図 3.1 ではローカルスペース内の R_1 と R_n が実空間、 P_1 から P_n が参加者である。参加者は同時に複数のスペースに参加する事ができる。図 3.1 中の点線で囲われた P_3 を例にすると、 P_3 はローカルスペース、プライマリスペース、リエゾンスペース、オートノマススペースの全てのスペースにおけるコミュニケーションに参加する参加者である。詳細については、3.4 節で述べる。

プライマリスペース

プライマリスペースは、単一もしくは複数のメディアエレメントの集合で構成される。図 3.1 の例では、2 つのメディアエレメント ME_1 , ME_2 から構成される。また、プライマリスペースの参加者 P_1 から P_n は本例では 2 つのメディアエレメントの両方を用いてプライマリスペースに参加している。

メディアエレメントは、授業や演奏等の実時間イベントの目的となるコミュニケーションに必要な情報を共有する。またプライマリスペースのメディアエレメントは実時間イベント中にオペレーションの対象である。オペレーションメタスペースのコントローラによって監視制御される。詳細については、3.5 節で述べる。

リエゾンスペース

リエゾンスペースは、単一もしくは複数のメディアエレメントの集合で構成される。図 3.1 の例では、2 つのメディアエレメント ME_3 , ME_4 から構成される。 P_1 から P_n の参加者がリエゾンスペースに参加している。リエゾンスペースにおける情報の共有では、利用するメディアエレメントの種類によって、ローカルスペースやプライマリスペースに参加しない参加者が存在できる。 P_4 はローカルスペースやプライマリスペースに参加せずリエゾンスペースのみで実時間イベントに参加する参加者の例である。リエゾンスペースでは、プライマリスペース以外で実時間イベントに関する情報を、ローカルスペースやプライマリスペースに干渉せずに共有する。リエゾンスペースに存在するメディアエレメントは、オペレータにより設定され、監視制御がなされる。詳細については、3.7 節で述べる。

オートノマススペース

オートノマススペースは、参加者による自律的なコミュニケーションに必要な情報を共有する。オートノマススペースの一部はコミュニケーション当事者間や特定のコミュニティ内でのみ共有さ

3.3. CPARSE の全体像

れ全体を把握することは不可能である。オートノマススペースは自律的に存在するためオペレータによる制御は行わない。詳細については、3.8 節で述べる。

セマンティクスグループ

リエゾンスペースとオートノマススペースにおける参加者は、参加する実空間や参加形態、もしくは社会的な繋がり等の属性や趣味趣向によりグルーピングできる。このグループを CPARSE ではセマンティクスグループと定義する。参加者は複数のセマンティクスグループに同時に所属できる。

図中の SE_1 から SE_n がセマンティクスグループである。 SE_1 はメディアエレメント ME_3 上でローカルスペースにおける参加者全体を含むセマンティクスグループである。 SE_3 は、メディアエレメント ME_4 上で属性情報等を用いてグルーピングされたセマンティクスグループである。

オペレーションメタスペース

オペレーションメタスペースは、(1)AV 機器や PC 等の実空間上のデバイス、(2) ソーシャルメディアや動画配信等のサイバー空間上のサービス等サイバーフィジカルシステムのアプローチによりモデル化し、「センサ」、「プロセッサ」、「アクチュエータ」として整理する。また実空間の会場の位置や定員等の情報を管理する。

図中のオペレーションメタスペースにおいて S_1 と S_2 はセンサ、 PR_1 と PR_2 はプロセッサ、 A_1 と A_2 はアクチュエータである。プライマリスペース、リエゾンスペース、オートノマススペースにおけるメディアエレメント上の情報は、センサにより収集され、プロセッサの処理を経て、アクチュエータによって参加者へフィードバックされる。

また、実時間イベントにおいて利用するデバイスの選択、実時間イベント中の監視や制御といったオペレーションは、図中 C_1 に示すコントローラがおこなう。コントローラは図中 O_1 に示されるような実空間で実際の AV 機器や PC 等を操作するオペレータの集合である。詳細については 3.9.1 節で述べる。

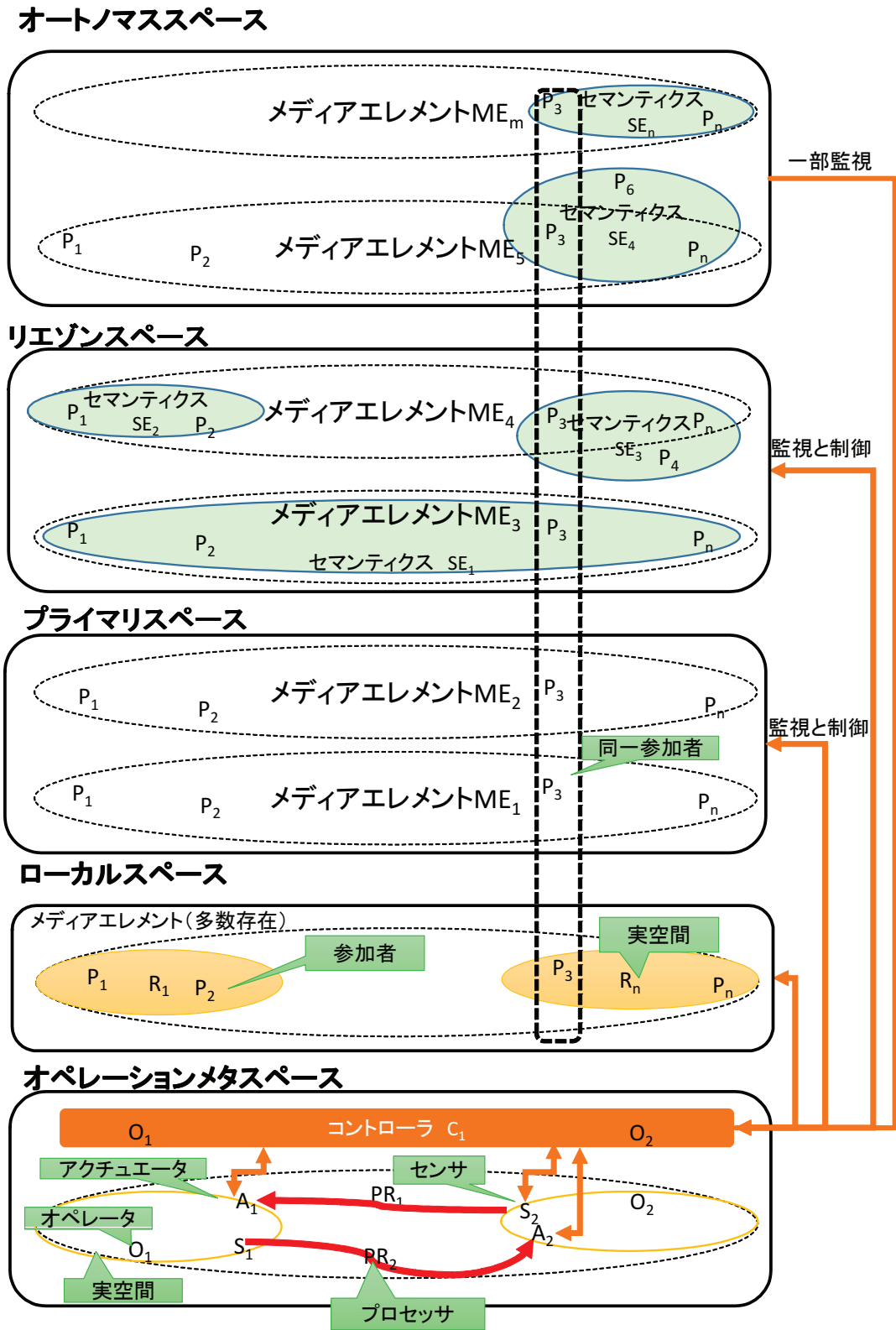


図 3.1: CPARSE 全体図

3.3. CPARSE の全体像

3.3.2 メディアとメディアエレメント

メディアエレメント

CPARSE においてサイバー空間上でデジタル化された情報を共有する構成要素をメディアエレメントと定める。メディアエレメントは映像、音声、文字、静止画や香り等あらゆる情報を片方向もしくは双方向で伝達する。メディアエレメントの種類や特性はフォーマットにより定義される。

フォーマット

メディアエレメントのフォーマットは共有する情報の種類や方向を記述する。CPARSE による実時間イベントでは、複数メディアエレメントで同一情報を共有する事がある。参加者は各自の環境において、利用可能な選択肢の中からフォーマット情報を用いてメディアエレメントを選択する。

- 名称
- 方向
- 種類とその品質

名称はメディアエレメントの識別子とする。実時間イベント毎に任意の識別子で識別される。方向は、片方向もしくは双方向でメディアエレメントによる情報共有の方向を定める。種類は、映像や音声等のメディアエレメントが共有する情報の種類を記述する。品質は映像における解像度やフレームレート、音声におけるサンプリング周波数やチャンネル数等を定める。但し映像のエンコーディング方式の違いは示さず解像度やフレームレート等異なるフォーマット間でも比較できる情報を持つ。

表 3.1 にメディアエレメントの表記例を示す。

表 3.1: メディアエレメント表記例

名称	種類	方向	品質
DVTS	映像	片方向	解像度:640 × 480, FPS:30
H.323HD	映像+音声	双方向	解像度 : 1920 × 1080, FPS:60
H.323QCIF	映像+音声	双方向	解像度 : 176 × 144, FPS : 30
電話	音声	双方向	サンプリング周波数:8khz
メール	文字	片方向	文字のみ
IRC	文字	双方向	文字のみ

メディア

CPARSE では単一もしくは複数のメディアエレメントにより構成されたシステムやサービスをメディアと定義する。例えばラジオ放送は、以下に示すメディアエレメントから構成されたメディアである。図 3.2 にラジオ放送を構成するメディアエレメントとその所属スペースを示す。参加者

P_1 と P_2 が番組出演者でそれ以外の参加者は聴取者である。

音声放送（電波）は、メディアとしてのラジオの中核をなすメディアエレメントで番組内容を聴取者に提供する。また音声を放送波が受信可能な多数の聴取者に同時に伝達できる。Twitter は主に文字や画像を共有するメディアエレメントであり参加者間でのコミュニケーションに用いられる。はがきや電子メールは聴取者からのリクエストやコメントを収集する片方向文字列メディアエレメントである。電話は同様に聴取者側からのリクエストやコメントを収集する双方向音声メディアエレメントである。ラジオ放送において電話は、はがきや電子メールよりインタラクティブなコミュニケーションが可能なメディアエレメントである。

CPARSE におけるメディアとは、複数スペースにおける複数のメディアエレメントが集合したものである。この時メディアエレメントは文字列、音声、映像、画像等多種多様な情報を片方向もしくは双方向で伝達する。

3.4 ローカルスペース

3.4.1 ローカルスペースの構成要素とコミュニケーション

ローカルスペースの詳細を図 3.3 に示す。図中では実空間 R_1 には $P_{1(S+R)}$ と $P_{2(S+R)}$ の 2 名の参加者、実空間 R_2 には $P_{3(S+R)}$ と $P_{4(S+R)}$ の 2 名のローカルスペースでの参加者がいる。ローカルスペースの参加者は、実空間の人間と 1:1 で対応する。ローカルスペースにおける実空間は、参加者が集合する教室やホール等実時間イベントがおこなわれる会場であり物理的な定員がある。従って実時間イベントにおいてローカルスペースから参加可能な参加者数には限界がある。

ローカルスペースにおけるメディアエレメントは光や空気の振動であり双方向である。また香りや温度等の同一実空間に存在する全ての情報が共有される。ローカルコミュニケーションでは多数の情報が無意識のうちに共有される。ローカルスペースにおいて共有される情報全てを定義し、その情報伝達に用いられるメディアエレメントを全て記述することは不可能である。よってローカルスペースでは映像や音声等の特定のメディアエレメントを設けず、参加者は各自が参加する実空間内でローカルコミュニケーションにより参加する事とする。これを CPARSE 上では常時情報を Send + Receive する状態と記述し図中では $P_{1(S+R)}$ の (S+R) の様に示す。

3.4.2 ローカルスペースのオペレーション

CPARSE の実時間イベントオペレーションでは、ローカルスペースで発生するローカルコミュニケーションを監視する。監視により得られた情報は、主にプライマリスペースのメディアエレメントの制御に利用される。例えば発言者が切り替わった際や挙手による意思表示をする参加者が発生した場合、プライマリスペースで共有される映像を話者や挙手者に切り替えたり、音量を調整するオペレーションに用いられる。

しかしローカルスペースではメディアエレメントの制御は、音声を無音にするために真空状態にする等極端な手段を用いれば制御は可能であるがこれは、現実的ではない。従って本研究の対象外とする。CPARSE では、ローカルスペースのオペレーションは監視のみで制御は行わない。また、ローカルスペースの無数の情報全てを監視する事は困難である。CPARSE では、ローカルスペースで共有されている情報は、プライマリスペースで伝達される情報のみを監視する。

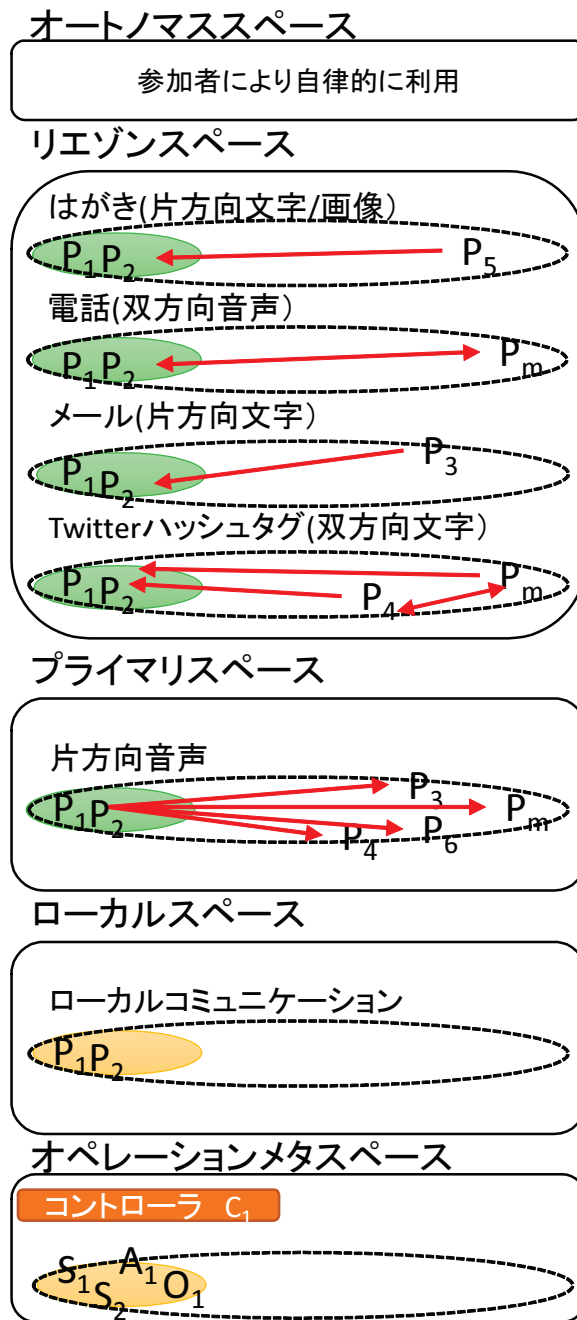


図 3.2: ラジオ放送におけるメディアエレメント

3.5 プライマリスペース

プライマリスペースはコントローラによって監視制御される単一または複数のメディアエレメントの集合である。プライマリスペースでは、実時間イベントの目的となる参加者間のコミュニケーションに必要な情報をメディアエレメントにより伝達しサイバー空間上での参加者間コミュニケーションを実現する。

ローカルスペース

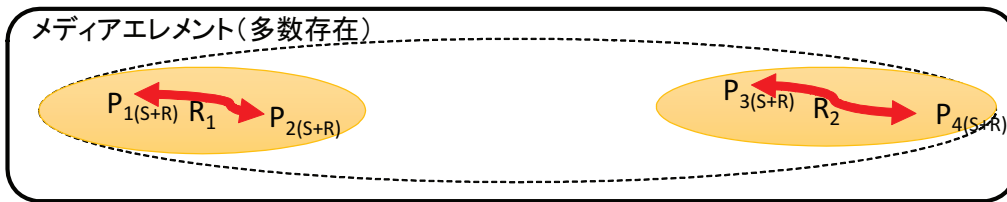


図 3.3: ローカルスペースの構成要素

3.5.1 プライマリスペースの構成要素とコミュニケーション

プライマリスペース

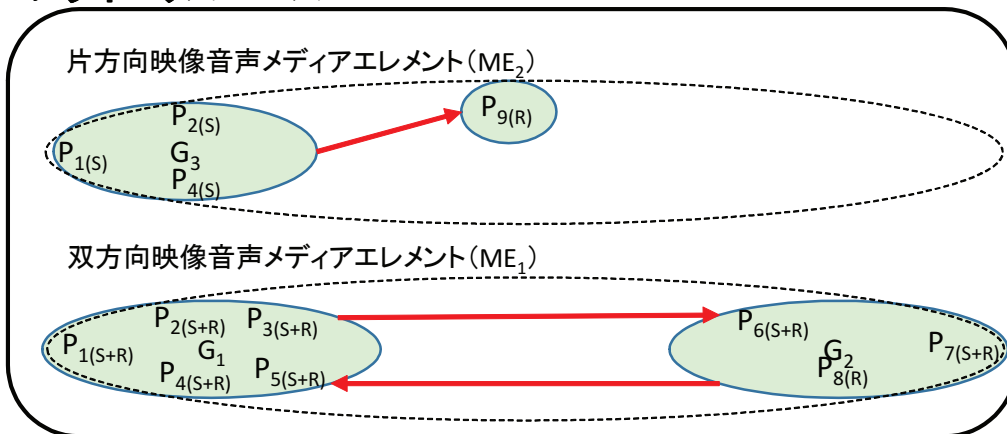


図 3.4: プライマリスペースの構成要素

図 3.4 において、図中の P_1 から P_9 はプライマリスペースの参加者を示す。本項では P_1 から P_5 の参加する会場、 P_6 から P_8 の参加する会場と P_9 が個人で参加する地点の 3 地点間での実時間イベントにおけるプライマリスペースを図示している。本図を用いてプライマリスペースの構成要素と参加者間のコミュニケーションについて説明する。

プライマリスペース内には、単一もしくは複数のメディアエレメントが存在する。本例では、双方向映像音声メディアエレメント ME_1 と片方向映像音声メディアエレメント ME_2 が存在する。

プライマリスペースのメディアエレメントには、片方向と双方向がある。 P_1 は ME_1 と ME_2 の両方のメディアエレメントを用いて参加する。 P_1 が発言する時、双方向の ME_1 では P_6 や P_7 のリアクションを映像音声により受信できる。しかし片方向の ME_2 では P_9 のリアクションを受信することはない。

双方向のメディアエレメントを利用した場合でもローカルスペースのローカルコミュニケーションと比較し共有される情報量には制約がある。例えば映像音声をメディアエレメントに用いた場合、映像に表示される範囲によって生じる死角や私語によるざわめき等意図的にミュートされ共有されない音声情報等、オペレーションにより失われる情報が存在する。また利用するメディアエレメントのフォーマットによっては映像の解像度が低く不鮮明で個人識別や表情が読み取れな

3.5. プライマリスペース

かったり、フレームレートが低くジェスチャが理解できないこともある。

また実空間をまたぐ参加者間のコミュニケーションにも制約がある。プライマリスペースのメディアエレメントは参加者を参加する実空間単位でグルーピングする。参加者 P_1 から P_5 は ME_1 では G_1 に属す。参加者 P_6 から P_8 は ME_1 では G_2 に属する。参加する実空間によるグルーピングのため、グループ内のコミュニケーションはローカルスペースでおこなう。 G_1 と G_2 に属する参加者間では ME_2 の双方向映像音声メディアエレメントでのコミュニケーションが可能であるが、しかし、グループ間で同時に発言できるのは1組である。

3.5.2 プライマリスペースのオペレーション

プライマリスペースにおけるメディアエレメントはローカルスペースのローカルコミュニケーションと同様にオペレーションメタスペースのコントローラにより監視される。プライマリスペースでは、プライマリスペースでの発言者の交代や挙手等が発生した際、映像や音声等のメディアエレメントの切替や音量調整も制御する。これはローカルスペースの監視によるプライマリスペースの制御とほぼ同義であるが、ローカルスペースを持たないプライマリスペースのみの参加者による発言や意思表示を検知するためプライマリスペースを監視する。

3.5.3 多様な参加者環境への対応

CPARSEによる実時間イベントでは、参加者の多様なデバイスやネットワーク環境に対応する。オペレーションメタスペースでは、サイバーフィジカルシステムのアプローチによって、デバイスやサービスをモデルし一元的に記述できる。プライマリスペースでは、オペレーションメタスペースにおける多様なデバイスや、システムによる情報伝達を同一情報の複数メディアエレメントによる伝達として記述する。

CPARSEでは図3.5に示す2地点間での遠隔授業例のプライマリスペースのように、複数のメディアエレメントで同一の情報を伝達する。図中左下の教員 P_1 がローカルスペースの教室 R_1 で発言、ジェスチャ、板書による授業をおこない、プライマリスペースを用いて図中右下の他の教室 R_2 から参加する学生に知識伝達する。 R_2 から参加する学生は、プライマリスペースのメディアエレメント ME_1 から ME_7 の中から参加環境に適した物を一つもしくは複数選択して参加する。 ME_1 と ME_2 はどちらも双方向映像と音声を送達する。HD映像を用いる ME_1 の方が高解像度であり伝送される情報量が多く、表情等も伝わる環境となる。また ME_3 , ME_4 , は片方向の映像音声, ME_5 は片方向の音声である。よって P_1 は P_2 からの言語, 非言語でのフィードバックを一切受けられない。また ME_5 は、映像を伴わないため P_2 が P_1 のジェスチャや表情といった映像により伝送される情報を得られない。 ME_7 は、他のメディアエレメントと併用する事が前提の板書である。利用可能なメディアエレメントが複数ある場合、単一もしくは複数のメディアエレメントを併用して参加する。

3.5.4 時刻

非同期での参加時に複数メディアを同期して再生するため、プライマリスペースにおけるメディアエレメントで共有する情報は時刻情報をあわせて記録することを定める。

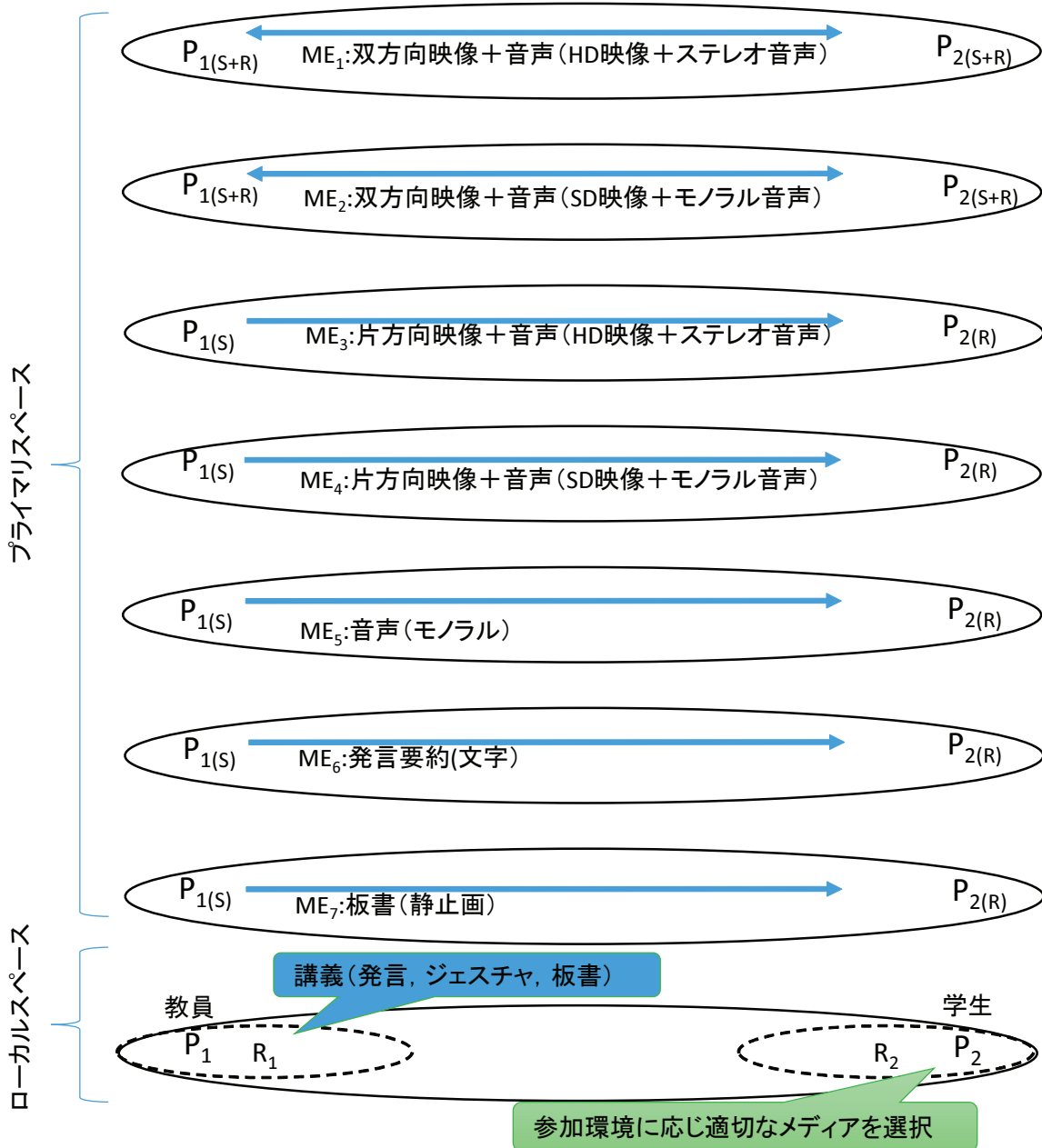


図 3.5: プライマリスペースでの情報伝達

3.6 CPARSEにおけるソーシャルメディア

3.6.1 プライマリスペース以外の情報共有

CPARSEでは、プライマリスペースにおいて実時間イベントの目的を達成するために必要な情報が参加者間で共有されコミュニケーションが発生する。しかし、2章で述べたようにデジタル化された情報をサイバー空間上で共有した場合、ローカルコミュニケーションにおける参加者間の私語やコメントの共有等多くの情報が失われる。

本研究では、こうしたプライマリスペース以外での情報共有を、リエゾンスペースやオートノマススペースでおこなわれる情報共有とした。本節では、プライマリスペース以外の情報共有における既存の取組について述べる。

Outband コミュニケーションと gaya システム

重近 [18] らは、実時間イベントにおいて演者による演奏や講義などの主要な情報共有を Inband コミュニケーション、参加者間の雑談や歓声等それ以外を Outband コミュニケーションと定義した。Inband コミュニケーションは本研究におけるプライマリスペースにおけるコミュニケーションと同様の定義である。会場内では演者は歓声拍手など様々な非言語の Outband コミュニケーションによるフィードバックを受け、双方向のコミュニケーションが発生する。参加者も演者による演奏以外に、他の参加者の存在、会場の興奮、熱気等会場の雰囲気共有することで実時間イベントへの参加感を得る。しかし、テレビ放送やインターネット上のストリーミングで遠隔地の参加者に共有される Inband コミュニケーションと異なり、Outband コミュニケーションは遠隔参加者には共有されない。よって遠隔参加では臨場感や場を共有している感覚が得られないとしている。

重近らは、実時間イベントへの遠隔参加時に Outband コミュニケーションを補完する gaya システムを構築した。gaya システムは、主会場や遠隔の参加者が PC や携帯電話機から入力したメッセージを各自のデバイスや主会場のスクリーンにランダムに表示することで、質疑応答や声援を通して主会場の参加者と遠隔の参加者が実時間イベントへの参加感を増大させることに成功した。gaya システムは、Outband コミュニケーションに特化しており映像や音声等 Inband コミュニケーションに必要なメディアやそのオペレーションは別途必要である。

ニコニコ生放送



図 3.6: ニコニコ生放送における字幕例

ニコニコ生放送 [19] も gaya システム同様にプライマリスペース以外で参加者が情報を共有する環境を提供している。ニコニコ生放送は、生放送される片方向映像音声のストリーミングを視聴しながら、コメントや感想等のメッセージを参加者が入力すると字幕として入力されたメッセージが全参加者の画面上に表示されるメディアである。図 3.6 に画面上に表示される字幕例を示す。放送されている動画上に参加者のコメントが表示されている。

ニコニコ生放送では、「生放送主(生主)」と呼ばれる主催者が片方向の映像音声を生配信し、それを遠隔参加者が視聴する。これは重近らの言う Inband コミュニケーションであり本研究におけるプライマリスペースのメディアエレメントである。遠隔参加者は視聴しながら感想やコメントを動画の表示されるウインドウ内に入力する。入力されたメッセージは生主を含む全参加者の画面上に字幕として表示される。これは gaya システム同様の Outband コミュニケーション可能なメディアである。

ニコニコ生放送では、ストリーミング配信される動画はプライマリスペースにおけるメディアエレメントで、字幕によるコミュニケーションは重近らの Outband コミュニケーションであり本研究のリエゾンスペースにおけるメディアエレメントである。図 3.7 にニコニコ生放送を CPARSE により定義する。 P_1 と P_2 がローカルスペースで参加しそのコミュニケーションをプライマリスペースの動画配信(片方向映像+音声メディアエレメントを用いて P_3 から P_m の参加者に発言内容やジェスチャ等の情報を伝達する。また同時にリエゾンスペースのメディアエレメントである字幕(双方向文字)により全ての参加者が字幕に文字入力しその内容を共有する。その一方で、機器の制御や調整等オペレーションをおこなう枠組はシステムとしては提供されない。よってニコニコ生放送では機器操作等のオペレーションは、生主や遠隔参加する視聴者自身がおこなう。CPARSE における記述では、オペレーションメタスペースのセンサである S_1 や S_2 やプロセッサ PR_1 、アクチュエータ A_1 の操作は参加者自身がおこなっている。よってオペレータ O_1 とは P_1 もしくは P_2 となる。

イベント中に視聴者は、音量やカメラアングル等に対して技術的な要求がある場合、生主に字幕でコメントできる。生主は、感想や質問への回答だけでなく、こうした字幕経由のオペレーションに関するコメントにも対応し音量の調整やカメラ位置の変更等のオペレーションがなされる。

属性情報の共有

ローカルスペースでのローカルコミュニケーション時、参加者は発言者の発言内容やジェスチャだけでなく会場内の他の参加者の存在や属性情報(年齢、性別等)を、見た目等の視覚情報から主として得ている。話者は観客の属性によって異なるエピソードを交えたり指名する相手を選択する等コミュニケーションに属性情報を用いる。しかしプライマリスペースで片方向のメディアエレメント利用したり、伝達される情報が発言者等特定の参加者の情報に限定される場合、会場全体の参加者数やその属性情報は得られない。

2003 年に慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスが実施した連続公開講座では、参加者のニックネームと性別年代等の属性情報を収集し授業をおこなう教員へ教室外から参加する受講者の情報を提供をおこなった [20]。図 3.8 は授業中に共有された属性情報の一例である。授業中に参加者を一意に特定するための識別子とニックネーム、参加者の属性を示す性別や参加会場名をフィードバックすることにより教員はこれらのプライマリスペース以外の情報によって遠隔会場の参加者の存在を把握したり、必要に応じて指名することができた。

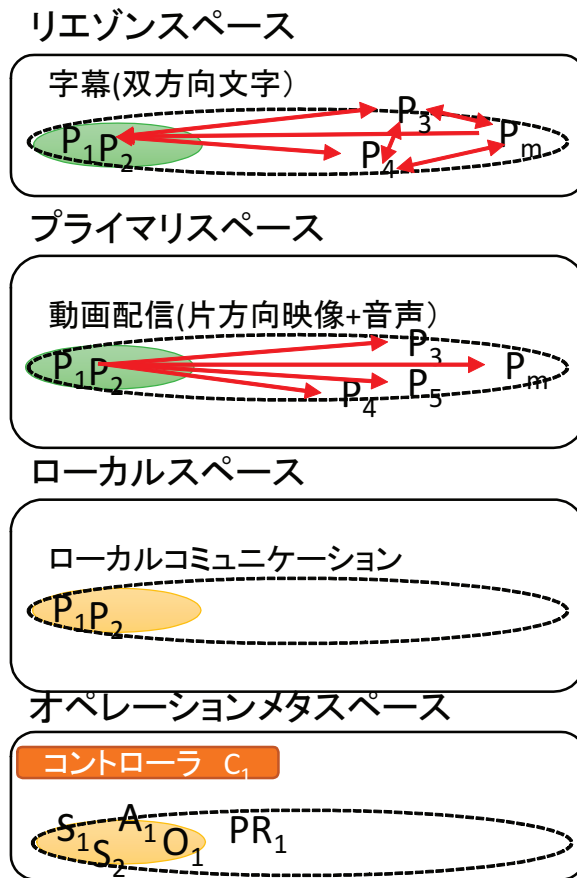


図 3.7: ニコニコ生放送の CPARSE による表記

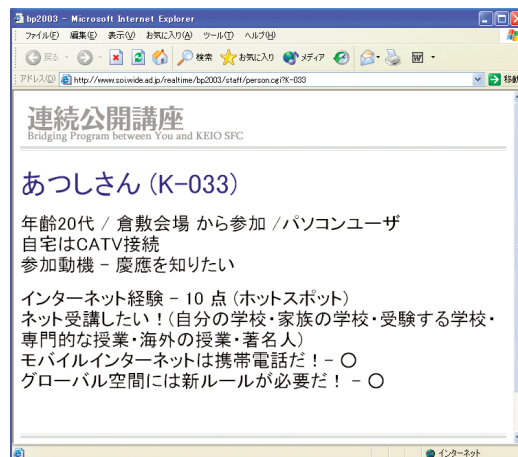


図 3.8: 属性情報の共有例

パブリックビューイング

プライマリスペースにおけるコミュニケーション時に共有されない会場の雰囲気や一体感を遠隔地で感じる手法としてパブリックビューイング, ライブビューイングがある. サッカーや野球等

の試合をスタジアムやスポーツバー等に集合して視聴するパブリックビューイングや、歌手やバンドのライブを動画配信し映画館等に集合して視聴するライブビューイングは、実時間イベントへの新たな参加方法として定着しつつある。

片方向メディアをプライマリメディアとして利用する実時間イベントでは、遠隔参加者は主会場の一般参加者や他の遠隔参加者とインタラクティブなコミュニケーションをおこなえない。しかし、パブリックビューイングやライブビューイングといった参加形態で、パブリックビューイング会場に集合することで、会場内での他の参加者とのローカルコミュニケーションが実現する。これは、主会場内での参加者同士の会話や熱気もしくはイベント参加時の一体感に近いものである。

既存の取組の限界

gaya システムやニコニコ生放送は、プライマリスペースでは共有されない情報を、文字列による情報のランダム表示や字幕表示により全参加者で共有し、実時間イベント参加者間のコミュニケーションを実現した。パブリックビューイングでは、同様に多数の遠隔参加者を同一実空間に集合させることで発生するローカルコミュニケーションでこれを代替した。

gaya システムやニコニコ生放送は、独自のシステムにより実現されている。そのため共有される情報にアクセスするためには、専用アプリケーションの導入や Web サービスへのログイン等参加者による行動が必要である。また、自身の友人や知人といった実空間における社会的な繋がりは再現されないため、友人と一緒に参加し感想やコメントを共有できない。一方パブリックビューイングは友人や知人と連れだって参加でき、コミュニケーションの内容もローカルコミュニケーションに近い。しかしパブリックビューイングが成立するためにはある程度の数の参加者が集合する必要があり、需要の少ないマイナー競技等では参加者数が集まらない可能性もある。主会場とパブリックビューイング会場、またパブリックビューイング会場間ではそれぞれの会場内のローカルコミュニケーションは他の会場に共有されない。そのため会場毎に盛り上がり度合いや得られる体験が異なる。

3.6.2 一般的なソーシャルメディアの定義

CPARSE では、リエゾンスペースとオートノマススペースにおいてソーシャルメディアを構成するメディアエレメントを用いたコミュニケーションを取り入れる。

本研究では一般的なソーシャルメディアをメールや電話の通話のように相手を特定したり、Web 上の文書のようにオープンに公開せず特定のコミュニティに所属する個人や集団を対象に掲示板や日記もしくは写真や動画を共有しコミュニティ内での多対多のコミュニケーションが実現できるメディアとする。mixi (<http://www.mixi.jp/>) や Facebook (<http://www.facebook.com/>) 等の SNS(ソーシャル・ネットワーキング・サービス)、ameba (www.ameba.jp/) や Tumblr (<http://www.tumblr.com/>) 等のソーシャル機能をもつ blog サービス、共有するコミュニティを限定した写真共有サービス Flickr (www.flickr.com/) 等が該当する。

本研究では、こうしたソーシャルメディアを複数のメディアエレメントの集合により構成されたメディアとして扱う。例えば、mixi は日記(長文の文字と写真)、アルバム(写真と短文の文字)、つぶやき(短文の文字)等複数のメディアエレメントの集合によるメディア(ソーシャルメディア)である。以下に一般的なソーシャルメディアの持つ特徴を示す。

- 情報の公開範囲指定

3.6. CPARSEにおけるソーシャルメディア

- 実空間における社会的繋がり再現
- 写真や動画等の多様なメディア要素の利用
- 非同期でのコミュニケーション

サイバー空間上の情報は、一般には、いつでもどこからでも誰もがアクセスできるオープンなものである。しかしソーシャルメディア上の情報はサイバー空間上でのオープンな公開だけでなく、ソーシャルメディア内に構築されるグループに閉じた情報共有とそれにより実現するクローズドなコミュニケーションを可能にした。また公開するコンテンツ毎に対象とするグループを個別に設定でき、サイバー空間上での個人的なコミュニケーションが可能である。

ソーシャルメディアでは、友人や知人といった実空間における社会的な繋がりをサイバー空間上に再現する。前述した情報の公開範囲との併用により、サイバー空間上での友人や知人との日記や写真アルバムによるコミュニケーションに活用されている。

これらのblogやmixi等日記やアルバムによる写真の共有は比較的長文を投稿する事が多く実時間イベント参加中に実況するよりは後日掲載されることが多い。投稿に対する感想やコメントも実時間イベント中ではなく非同期でおこなわれる。

3.6.3 リアルタイム性の高いソーシャルメディア

近年のスマートフォンの発展はソーシャルメディアにも変化を与えている。googleの調査によると、2012年現在の日本におけるスマートフォンの普及率は人口の25%である。そのうち日常的にスマートフォンを利用するユーザの50%がソーシャルメディアを利用し、80%のユーザはスマートフォンを使いながらの音楽試聴(26%)やテレビ鑑賞(53%)等、同時に他のメディアと接触している[21]。携帯デバイスの普及と高機能化によって、様々な実時間イベントに参加しながらソーシャルメディアも同時に利用されるようになったと考えられる。

3.6.4 本研究におけるソーシャルメディア

本研究ではソーシャルメディアの一般的な特徴だけでなく、よりリアルタイム性の高いミニブログと呼ばれるTwitterの「ツイート」やmixiボイスの「つぶやき」、Amebaなうの「なう」等のメディア要素における以下の特徴に注目する。

- リアルタイム性
- 短文でのコミュニケーション
- 時刻情報の付加
- 位置情報の付加
- 動的なグルーピング

ソーシャルメディアのうちミニブログに分類されるメディア要素では、字数制限により短文での投稿が系統的に強制される。TwitterやAmebaなうでは140文字、mixiボイスでは150文字までに制約される。日記のような長文ではなく必然的に短文での簡易な表現で作業の進捗や

行動、現在地を感情等を交えリアルタイムで共有する利用方法が多い。Twitter で生まれた語尾に「なう」を付けた「会社なう。」「食事なう。」といった表現は他のミニブログでも多く使われる [22]。また本研究では「tsuda る」という実時間イベントを Twitter 上で中継する行為についても注目する [23]。「tsuda る」という Twitter の利用方法は、「社会問題上重要度の高いカンファレンスにオンライン状態で出席し、現場で発表された発言を 140 字で要約し、これを Twitter の Timeline 上に送り続ける行為」であると、語源となった津田大介氏により定義されている。2012 年現在、カンファレンスに限らず、様々な実時間イベントで「tsuda る」行為がおこなわれる。この結果、授業であってもローカルスペースでの参加（教室）やプライマリスペースでの参加（遠隔教室や自宅）での参加以外に、リエゾンスペースのメディアエレメント（Twitter）で共有される発言の要約や写真等だけで実時間イベントへ参加する新たな参加形態も多く見つけられるようになってきた。また、発言には時刻情報が付加され GPS による位置情報も利用者の設定により付加できる。ツイートやつぶやきを受信した時点で、投稿からどのくらい時間が経過しているか、またどこで投稿されたかがわかることで、タイムリーな会話が始まったり、現在地が近い場合には実空間での Face to Face のコミュニケーションへも移行する。

これらのメディアエレメントにおけるもう 1 つの特徴は動的なグルーピング機能である。Twitter ではハッシュタグ検索により実空間でのイベント参加や趣味嗜好等によってグループの形成機能がある。Ameba なうでは、運営者による「TV 実況なう」や「なうネタ」によりリアルタイムでグルーピングがおこなわれる。これらのグルーピングは、前述の特定のコミュニティに向けた投稿を、同一ハッシュタグもしくは「なうネタ」によりグルーピングされた他のコミュニティに対しても情報の共有がおこなわれる。

本研究ではこうした現状から、リアルタイム性の高いメディアエレメントを持つソーシャルメディアが、実空間・サイバー空間からの実時間イベント参加において重要な役割を果たすと考える。本研究におけるソーシャルメディアを「実時間イベントにまつわる情報を文字や写真動画等のメディアエレメントを用いて、サイバー空間上に動的にグルーピングされたコミュニティに共有できるメディア」と定義する。CPARSE リエゾンスペースとオートノマススペースにおいて参加者のセマンティクスグループに対応するグルーピングと情報共有にソーシャルメディアを構成するメディアエレメントを用いる。

3.7 リエゾンスペース

リエゾンスペースでは、プライマリスペースやローカルスペースにおける実時間イベントの主要な目的となるコミュニケーション以外で実時間イベントに関連するコミュニケーションがおこなわれる。リエゾンスペースは単一または複数のメディアエレメントの集合により構成される。

リエゾンスペースでは、利用するメディアエレメントによっては、匿名や複数アカウントの使い分けが発生するので、リエゾンスペースの参加者とローカルスペースやプライマリスペースの参加者は必ずしも同一とは限らず、ローカルスペースの 1 人の参加者が複数アカウントで発言する事でリエゾンスペースの複数の参加者となることもある。

3.7.1 リエゾンスペースの構成要素とコミュニケーションにおけるメディアエレメント

リエゾンスペースでは、前節で述べた gaya システムの文字列、ニコニコ生放送の字幕、属性情報の共有システム等専用のシステムによるメディアエレメントだけでなく、ソーシャルメディアに

おける日記, 写真投稿, つぶやき, ツイートといったメディアエレメントも利用できる. CPARSE におけるリエゾンスペース上のコミュニケーションは, プライマリスペースやローカルスペースでのコミュニケーションに干渉したり妨害しないものとする.

リエゾンスペースで共有される情報は, 実空間もしくはサイバー空間の参加者による発言, コメント, 意思表示等である. リエゾンスペースのメディアエレメントによる情報の共有も, プライマリスペースのメディアエレメントと同様にサイバーフィジカルシステムによりモデルを用いることよって, (1) センサとなるキーボードやマイクによるセンシング, (2) プロセッサとなるサービス上での並び替えや変換等のプロセッシング, (3) アクチュエータとなるディスプレイ等への表示によって参加者へフィードバックされ, 参加者間のコミュニケーションの1つとしてその情報が共有されている.

3.7.2 参加者のセマンティックスグループによるグルーピング

リエゾンスペースは, 実時間イベント中にローカルコミュニケーションにおける私語や感想等の参加者間のコミュニケーションをサイバー空間上で実現する. 2章で述べたように H.323 や SIP 等の一般的なテレビ会議システムでは, 複数実空間に分散する参加者を複数グループに分割し独立したグループ内コミュニケーションができない.

CPARSE ではリエゾンスペースを構成するメディアエレメント上で参加者のセマンティックスグループによるグルーピングをおこなう. 図 3.9 に R_1 から R_4 までの4つの実空間に分散する P_1 から P_8 までの参加者による実時間イベント例を示す. 本例における ME_1 は双方向映像音声, ME_2 は片方向映像音声, ME_3 は双方向の文字を伝達するメディアエレメントとする.

R_1 が主要な会場となっており R_1 内ではローカルコミュニケーションがおこなわれる. R_3 から参加する参加者は双方向のメディアエレメント ME_1 でプライマリスペースで参加し R_3 内でのローカルコミュニケーションを持つ, R_4 から参加する参加者は片方向のメディアエレメント ME_2 によりプライマリスペースで参加する. また, R_2 における P_4 はローカルスペースとプライマリスペースではイベントに参加しない. ローカルスペースとプライマリスペースにより授業, 演奏, 会議における発言や演奏等の主要な情報が共有できる. しかしローカルスペースで他の実空間から参加する参加者とのコミュニケーションには制約が残る.

リエゾンスペースでは参加者 P_3, P_4, P_6, P_8 がメディアエレメント ME_3 を用いて参加しプライマリスペースとは独立したコミュニケーションをおこなう. 本例ではリエゾンスペースで3つのセマンティックスグループが形成される. (1) メディアエレメント ME_3 を利用する参加者全体を表すセマンティックスグループ SE_1 , (2) P_3 と P_4 によるセマンティックスグループ SE_2 , (3) P_6 と P_8 によるセマンティックスグループ SE_3 である.

SE_1 は ME_3 の実装が Twitter の場合, コントローラが設定するイベント公式ハッシュタグでグルーピングされる集団である. ハッシュタグにより, 参加者各自の Twitter タイムラインには表示されない, 他のイベント参加者の発言が検索され, 参加者間のコミュニケーションが実現する. SE_2 はローカルスペースやプライマリスペースでイベントに参加しない参加者 P_4 を含む. ローカルスペースとプライマリスペースに参加する P_3 が発言内容等を ME_3 上に共有することで, P_3 と Twitter での繋がり (P_3 をフォロー) をもちローカルスペースやプライマリスペースで参加しない P_4 がイベントに参加できる. SE_3 は P_6 と P_8 から構成されるセマンティックスグループである. ローカルスペースではローカルコミュニケーションできない異なる実空間から参加し, プライマリスペースで異なるメディアエレメントを用いた参加であり本来は会話や互いのコメントを共有

する手段を持たないが、(1) SE_2 の例同様のソーシャルメディアでの繋がり、(2) SE_1 上でのコメント共有を発端とする会話、(3) 同じ属性を持つ等 ME_3 上での検索等によりグルーピングされる事でセマンティクスグループを形成しコミュニケーション可能になる。

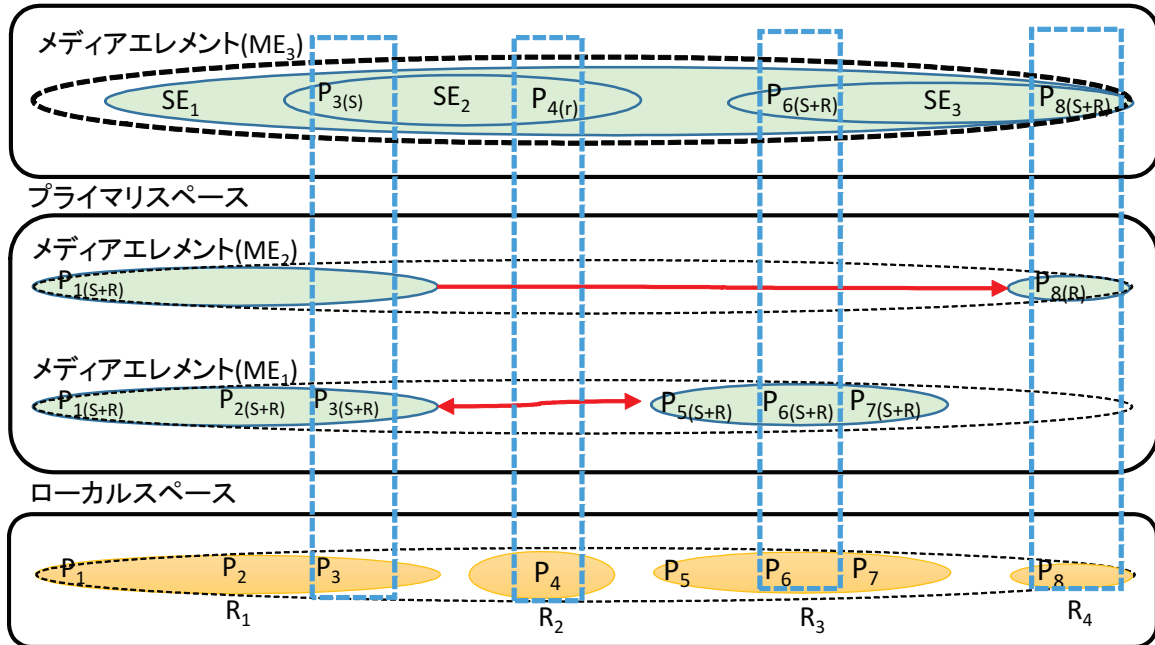


図 3.9: リエゾンスペースにおけるグルーピング例

3.7.3 時刻

非同期参加時には、複数メディアエレメントを同期して再生する。従ってリエゾンスペース上のメディアエレメントで伝達される情報は、時刻情報を持たせることが重要である。

3.8 オートノマススペース

オートノマススペースでは、リエゾンスペースと同様にプライマリスペースの情報以外の実時間イベント関連情報を共有する。但しリエゾンスペースと異なり、オートノマススペースで用いられるメディアエレメントは、コントローラではなく参加者により自律的にオペレーションされる。従ってオペレーションメタスペースのコントローラはオートノマススペースのメディアエレメントの制御をおこなわない。

また、リエゾンスペースに設定されたメディアエレメントを参加者が利用する場合でも、メディアエレメント上でコンテンツの公開範囲を、「友人のみ」もしくは「友人の友人」といった限定された範囲に設定した場合には、コントローラでは監視できない。CPARSEではこれらもオートノマススペースでのコミュニケーションとして扱う。

現実の実時間イベントでは、サイバー空間上の掲示板や blog 等、様々なメディア上に関連情報が共有され、イベント主催者であっても全てを把握し管理することは不可能である。オートノマ

ススペースではこうした参加者により生成される情報と、それにより発生する参加者間のコミュニケーションを対象とする。イベント中にはその存在を把握できないメディアエレメントも存在する。イベント終了後に Web やソーシャルメディアの検索機能等を用いて抽出できるものも、IM やメール等の個人間のチャットや通話等抽出できないものも含まれる。

3.9 オペレーションメタスペース

3.9.1 オペレーションメタスペースの構成要素

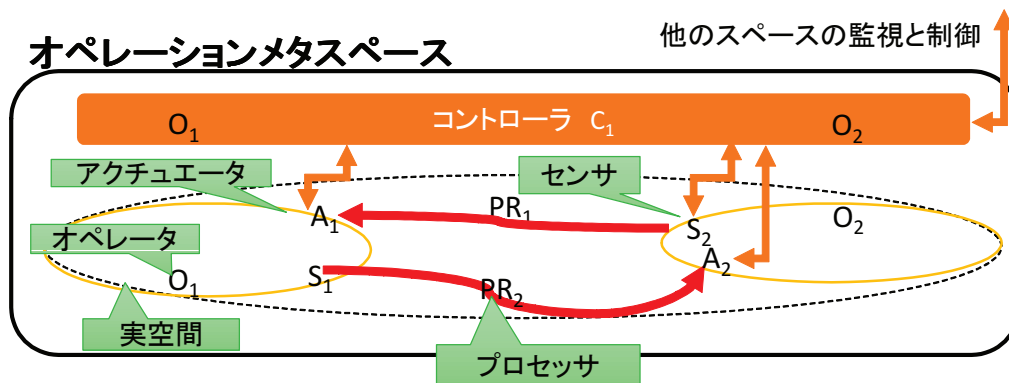


図 3.10: オペレーションメタスペースの構成要素とオペレーション範囲

図 3.10 にオペレーションメタスペースの構成要素を示す。オペレーションメタスペースでは、実時間イベントにおいて複数人が集合する会場と実空間の AV 機器や PC 等のデバイスやサイバースペースのサービスをモデル化している。また、実時間イベントにおける機器の制御や監視等をオペレーションと定義し、オペレーションをおこなうコントローラとオペレータについて定義する。

オペレーションメタスペースでは、プライマリスペース、リエゾンスペース、オートノマススペースのメディアエレメントを用いた情報共有をおこなうため、実空間の AV 機器、PC、スマートフォン等のデバイスやサイバースペース上の関連サービス類を (1) センサ、(2) プロセッサ、(3) アクチュエータとして扱う。

本例では、図中赤線で示すプライマリスペースで参加者間で共有される情報は、オペレーションスペース内でも赤線で示される。また、リエゾンスペースの参加者間で共有される情報は緑線で示され、オペレーションメタスペースでも緑線で示される。センサ S_1 により実空間 R_1 から取得される情報と S_2 により外部メディア（ソーシャルメディア等）から取得される情報は、プロセッサ PR_1 により合成され、他の実空間 R_2 のアクチュエータ A_2 により実空間へフィードバックされる。これを用いて、 R_2 から参加する参加者のコミュニケーションが実現する。

実空間におけるスマートフォンや PC 等実際のデバイスは複数の機能を併せ持つ物も多い。 S_4 と A_4 のように点線で囲んだものが該当する。

これらセンサ、アクチュエータ、プロセッサは実空間でデバイスを操作するオペレータ (O_1 や O_2) の集合であるコントローラ C_1 によって監視制御される。CPARSE では、こうしたオペレーション内容を汎用に記述できる。またコントローラは他のスペースにおけるコミュニケーションやイベントの目的利用可能なリソースに応じて利用するセンサ、アクチュエータ、プロセッサを選

択する。

デバイスやサービスのモデル化，オペレーションの詳細は 3.9.2 項で述べる。

オペレーションの範囲

CPARSE による実時間イベントにおいてオペレーションメタスペースにおけるオペレーションは，実時間イベント全体を対象としない。図中オレンジで示すエリアが CPARSE のコントローラによりオペレーションされる範囲である。コントローラは，実時間イベント中のプライマリスペースやリエゾンスペースのメディアエレメントによるコミュニケーションを監視し必要に応じてセンサ，プロセッサ，アクチュエータを制御する。またローカルスペースにおける参加者間のコミュニケーションを監視し，話者の交代や挙手等にあわせたセンサのセンシング対象の切替等をおこなう。

3.9.2 デバイスとサービスのモデル化

CPARSE では多種多様なプロトコルに基づくデバイスやサービスを，サイバーフィジカルシステムのアプローチによりモデル化する。サイバーフィジカルシステムとは一般に実空間とサイバー空間を相互に連携させた環境である。組み込み機器やそれを接続するネットワークにより実空間からの情報を取得し，サイバー空間上の豊富な計算機能力により処理をおこなう。その結果は実空間へフィードバックされ実空間，サイバー空間の双方で新たな価値が創造される [4][24]。

本研究では，実空間の参加者間コミュニケーションに必要な情報を取得しサイバー空間上で処理した上で実空間にフィードバックする事で実空間とサイバー空間を統合した実時間イベントを実現する。

CPARSE による実時間イベントにおける参加者は，プライマリスペース，リエゾンスペース，オートノマススペース上で映像や文字等のメディアエレメントを用いてコミュニケーションに必要な情報を共有する。オペレーションメタスペースでは，他のスペースにおける映像，音声，文字等のメディアエレメントで共有される情報の流れを図 3.11 に示すプロセスのように記述できる。(1) 実空間，もしくはサイバー空間上の「センサ」による参加者間のコミュニケーション情報の取得しデジタル化，(2) 「センサ」により取得された「センシングデータ」を「プロセッサ」で処理した「コンテンツデータ」の生成，(3) サイバー空間上で共有される「コンテンツデータ」を「アクチュエータ」が実空間へフィードバックし，参加者へ還元する。

本項では「センサ」，「プロセッサ」，「アクチュエータ」それぞれの詳細について述べる。

センサ

CPARSE では以下の 2 種類のセンサを定義する。

- フィジカルセンサ
- バーチャルセンサ

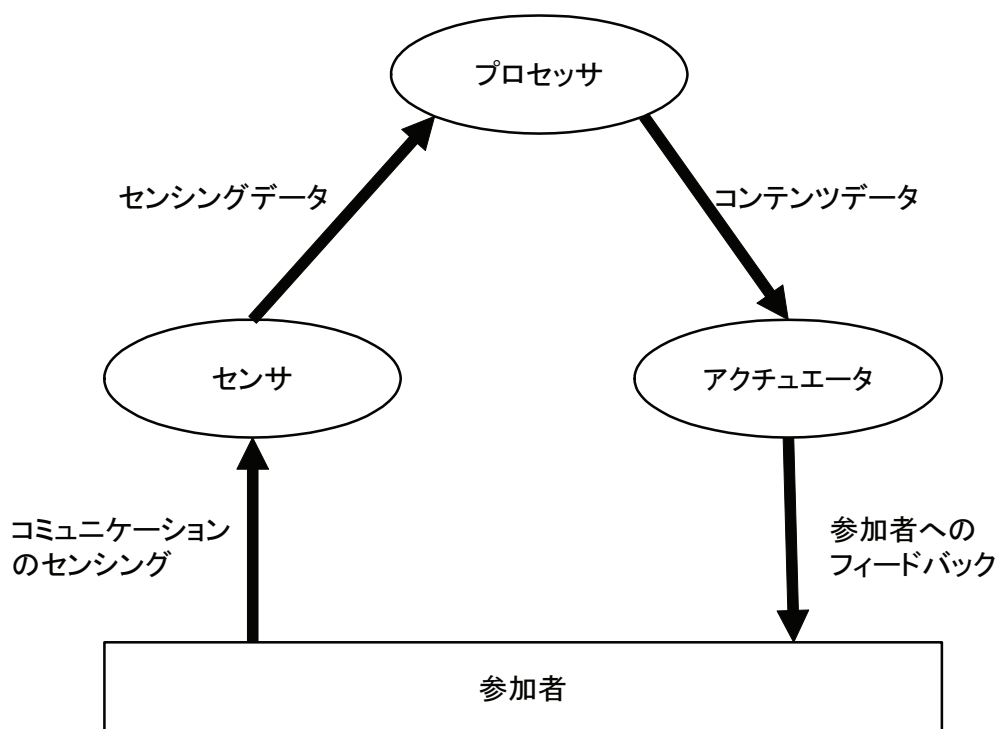


図 3.11: サイバーフィジカルシステムによる抽象化

フィジカルセンサは、実空間上で参加者間のローカルコミュニケーションをカメラやマイク等により間接的、もしくは参加者のキーボード操作等で直接的に情報を取得しデジタル化する。表 3.2 にフィジカルセンサにより取得される実空間情報とセンシングデータ、また実際のデバイス例を示す。

バーチャルセンサは、ソーシャルメディア等の CPARSE のオペレーション範囲外の外部メディア上で生成されたコンテンツデータを CPARSE 内に取り入れる。表 3.3 にバーチャルセンサにより取得されるコンテンツデータとセンシングデータを示す。

実空間情報	デバイス	センシングデータ
ジェスチャ	カメラ	映像
発言	マイク	音声
	キーボード	文字
板書	カメラ	映像
講義資料	書画カメラ	映像

プロセッサ

プロセッサはセンサにより取得されるセンシングデータを処理しコンテンツデータを生成する。CPARSE によるプロセッサは、8 種類に定義した (表 3.4)。映像・音声・文字・静止画等のメディ

表 3.3: バーチャルセンサによるセンシング例

コンテンツデータ	センシング方法	センシングデータ
Twitter	ハッシュタグ検索 キーワード検索	文字 文字
H.323	コンポーネントビデオ	映像
H.323	アナログオーディオ	音声
参加者数	Ustream アクセス数表示	数字

表 3.4: プロセッサの種類と役割

種類	役割
mix	同一種類のセンシングデータの合成
embed	異なる種類のセンシングデータを合成
de-embed	センシングデータの分割
switch	切替
copy	分配
convert	変換
save	コンテンツデータの保存
play	保存されたコンテンツデータを再生

アに依存せずプロセッサにおける処理は、この 8 種類のいずれかもしくは複数の組合せにより記述できる。

図 3.12 に異なる 4 つの実空間からセンシングした映像と音声を、プロセッサにより処理し、コンテンツデータを生成し、サイバー空間上にアーカイブを残す例を示す。図中左側のセンサでデジタル化されたセンシングデータは、まず 4 つの映像を合成する。次に 4 分割の映像とする映像の「mix」処理をおこなうと同時に、2 本のマイク音声をミキシングする音声の「mix」処理をおこなう。そして映像と音声の統合「embed」をおこない、コンテンツデータ（片方向映像音声メディアエレメント）を生成する。生成されたコンテンツデータを「save」することでサイバー空間上にアーカイブが残る。

非同期での実時間イベント参加へ対応するため、保存されるコンテンツデータには時刻情報を記録する。

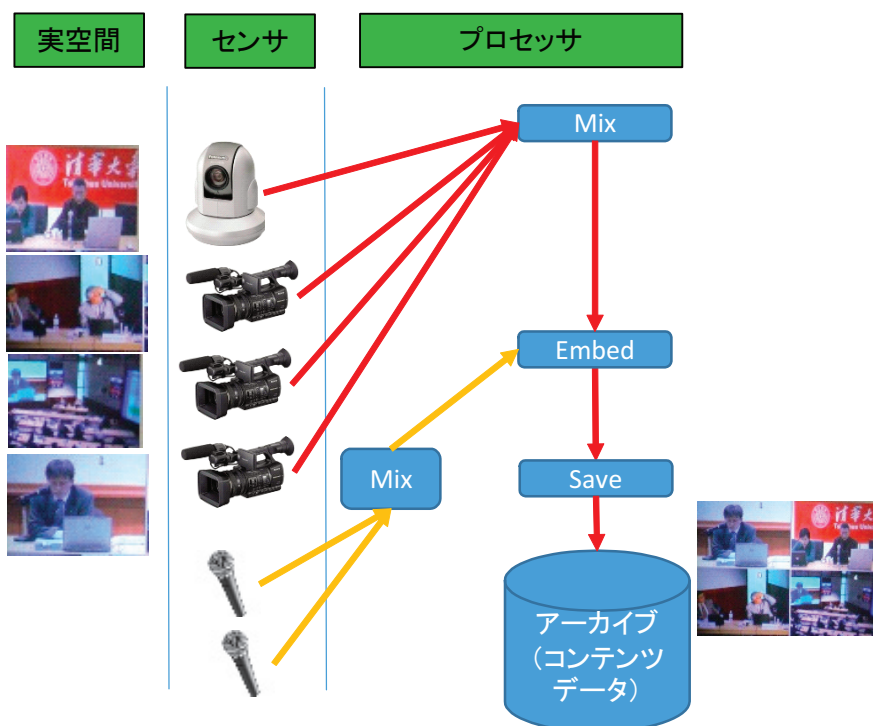


図 3.12: プロセッサによるプロセッシング例

アクチュエータ

プロセッサが生成するコンテンツデータを実空間にフィードバックするデバイスを、アクチュエータとする。音声を再生するスピーカー、映像、画像や文字を表示するプロジェクタやディスプレイなどは代表的なアクチュエータである。図 3.13 に図 3.12 において生成したコンテンツデータをアクチュエータにより実空間にフィードバックする例を示す。図中、中央下のコンテンツデータをアクチュエータとなる PC（プロジェクタとスピーカに接続）で受信し映像をプロジェクタに表示し、音声をスピーカで再生する。

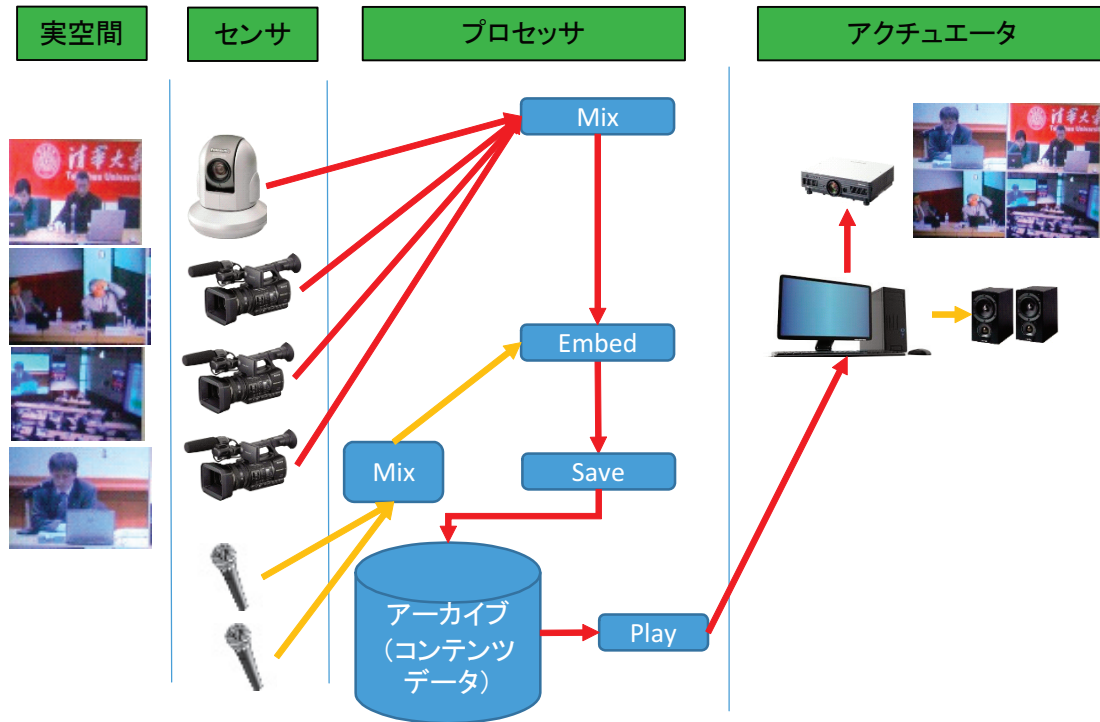


図 3.13: アクチュエータによるフィードバック

3.9.3 オペレータとコントローラによるオペレーション

CPARSE における実時間イベントのオペレーションはオペレータとコントローラにより実現する。時系列に沿っておこなわれる実時間イベントのオペレーションについて述べる。

実時間イベント前

CPARSE による実時間イベントでは、実時間イベント前に実時間イベント環境の設計と構築をおこなう。

実時間イベントの規模や目的によりプライマリスペースとリエゾンスペースにおいて必要なメディアの種類や方向が決定する。コントローラは実空間とサイバー空間で利用可能なデバイスを組合せて、プライマリスペースとリエゾンスペースのメディアエレメントを構成する。この時プラ

イマリススペースのメディアエレメントは、CPARSEのオペレーション範囲内の会場でセンサ、プロセッサ、アクチュエータの組合せにより構成される。サイバー空間上の個人参加や、実空間の会場で参加する参加者がコミュニケーションに利用するリエゾンスペースのメディアエレメントはコントローラにより定義される。しかし、そのオペレーションは、参加者自身の手で操作されるPCやスマートフォン等のデバイスやソーシャルメディアで構成されるため、CPARSEによるオペレーションの範囲外となる。

ただし、外部メディアを実時間イベントに取り込むための制御として、ソーシャルメディアのハッシュタグ設定等はコントローラによりおこなわれ、メディアエレメント上で伝達される情報も監視する。

実時間イベント中

図 3.14 にコントローラによる実時間イベント中のオペレーションとその範囲を示す。図中オレンジ色の部分がコントローラにより監視制御されるオペレーションの対象である。まず、ローカルスペースで発生するコミュニケーションの制御や、オートノマススペースで発生するコミュニケーションは制御や監視しない。オペレーションメタスペースにおいて、これら関連するセンサやアクチュエータの制御はおこなわない。図 3.10 における、オペレーション範囲外の S_4 と A_4 、 S_5 と A_5 等は、オートノマススペースでの自律的なコミュニケーションに利用される参加者個人所有のスマートフォンやタブレット端末等である。これらの個人所有のデバイスは、参加者により操作されるためコントローラによる制御や監視はできず、オペレーションの範囲外となる。また、 S_7 と A_7 のような実空間を持たないデバイスは、参加者が複数人ではなく単一で参加し、ローカルスペースに会場を持たないものを示す。こうしたデバイスも参加者が直接操作するためオペレーション範囲外である。

リエゾンスペースにおいてソーシャルメディア等の外部メディアによるメディアエレメントを利用する場合、外部メディアは外部の事業者により運営されるため直接は制御できない。しかし、CPARSE では外部メディアの一部をサイバー空間上のセンサ（図中 S_2 ）により CPARSE 内に取り込むことも可能である。この時 S_2 の制御は、コントローラによりおこなわれオペレーション範囲内である。

実時間イベント後

実時間イベント終了後は、主催者によるアーカイブによる非同期参加が提供される場合にイマリススペースにおけるメディアエレメントの制御や監視が発生する。また、リエゾンスペースやオートノマススペースのメディアエレメントにアーカイブが存在する場合、その情報を分析し参加者からのフィードバックが得られる。

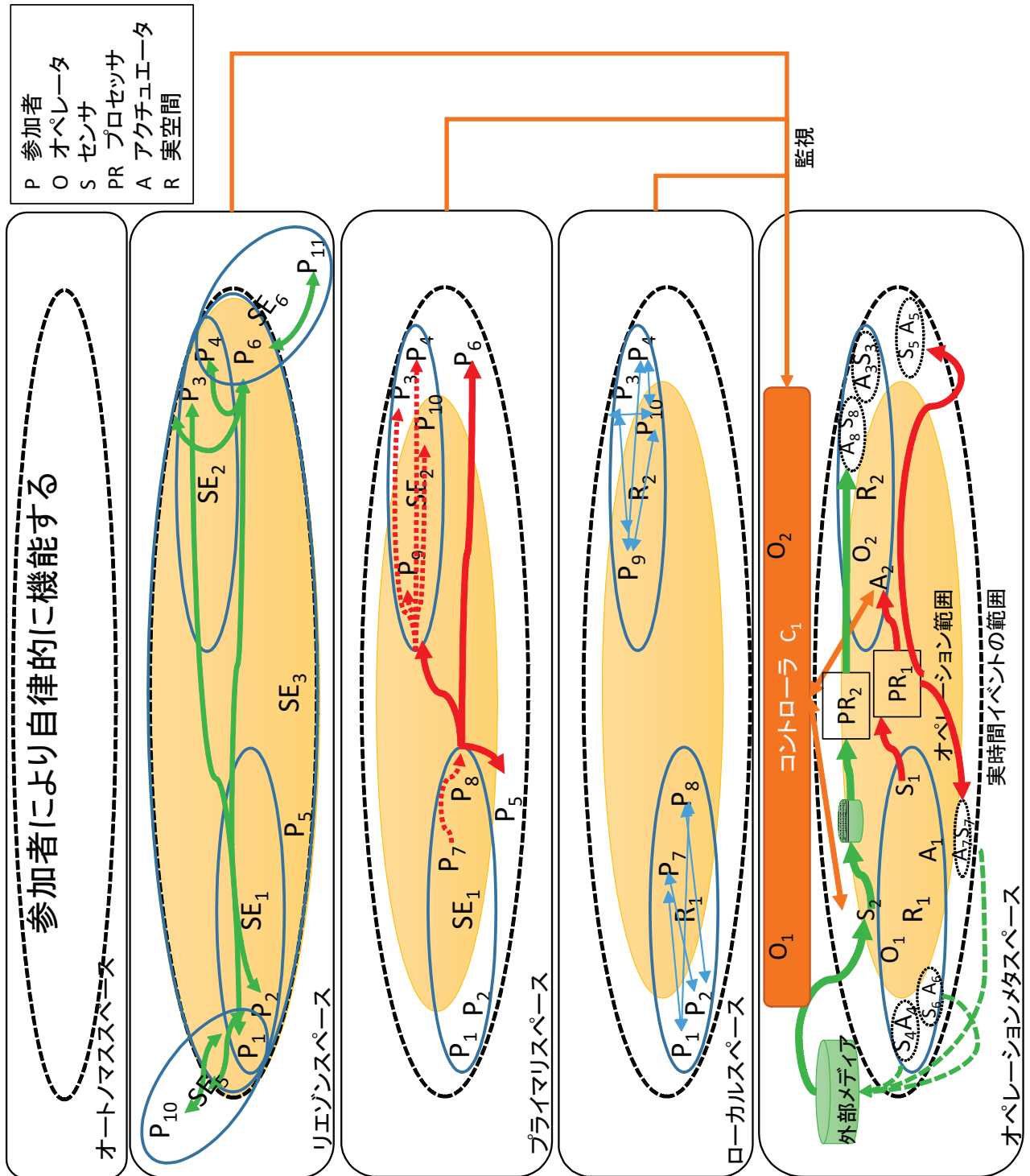


図 3.14: コントローラによる実時間イベント中のオペレーション

3.10 CPARSE と時間の流れ

CPARSE では、実時間イベントにおける時間を、実時間イベント前、実時間イベント中、実時間イベント終了後の3つの時間区分により区分する。

3.10.1 イベント前

実時間イベント前には、参加者は会場ではなく任意の地点に分散し会場は無人である。またイベントの目的となるコミュニケーションは発生しない。従ってローカルスペースやプライマリスペースを構成するメディアエレメントも存在しない。しかし、リエゾンスペースやオートノマススペースでは、日時や開催地、イベントの内容など告知情報や、参加予定者による期待感の表明や、友人や知人への紹介等参加者間の実空間を伴わないコミュニケーションが存在する。実時間イベント前のこれらのコミュニケーションによりイベント参加予定者への情報共有だけでなく、イベントへの参加者を増やす効果もある。

この時オペレーションメタスペースでは、(1)リエゾンスペースのメディアエレメントの設定、(2)プライマリスペースのメディアエレメントの設計と実装をオペレーションメタスペースでおこなう。(1)はTwitterのハッシュタグ設定や、Facebookのグループ作成等参加者が集合し情報を共有できるメディアエレメントを提供しイベント参加者セマンティックグループを形成する。

3.10.2 イベント中

実時間イベント中には、分散する参加者が所属する実空間を統合したプライマリスペースとソーシャルメディアスペース上で実時間イベントが行われ、参加者は複数のセマンティックグループにより最適な手段をによりイベントへ参加する。オペレーションメタスペースでは、設計に基づき、プライマリスペースとソーシャルメディアスペースでのコミュニケーションをセンサ、プロセッサ、アクチュエータのオペレーションにより実現する。また、オペレーションメタスペースのコントローラは実時間イベント中は、存在する全てのセマンティックグループにおけるイベント参加状況を監視し、発信者の変化などに応じたデバイスの制御や監視をおこなう。

3.10.3 イベント後

実時間イベント終了後は、実時間イベント前と同様に参加者が会場内にいないため、プライマリスペースではコミュニケーションが発生しない。ソーシャルメディアスペースでは、感想やコメントの共有や、イベント中の過去の発言を基にした追体験や議論による時間差で参加が発生する。オペレーションメタスペースでは、イベント前と同様にソーシャルメディアスペースでのコミュニケーションを実現する。

3.11 実時間イベントへの参加

3.11.1 実時間イベントと時間の関係

CPARSEによる実時間イベント参加を、前節で述べたローカルスペース、プライマリスペース、リエゾンスペース、オートノマススペースのいずれか、または複数スペース上でのコミュニケー

ションへの参加と定義する。

実時間イベントは基本的に全ての参加者が時間を共有するイベントであるが、リエゾンスペースやオートノマススペースでは実時間イベント開始前や終了後にも実時間イベントに関連したコミュニケーションが発生する。よって CPARSE では実時間イベントへの参加形態に同期参加と非同期参加を定義する。同期参加は、実時間イベント中に他の参加者と時間を共有する参加形態とする。非同期参加は、実時間イベント前や実時間イベント後にサイバー空間へ情報を共有したり共有されている情報を取得する参加形態である。

実時間イベント前には、イベントへの参加や期待感等の表明や他者のコメントへの返答による非同期参加が存在する。実時間イベント後には、ビデオアーカイブの視聴や実時間イベントの感想やコメントの共有、他者のコメントへの返答により非同期参加できる。

3.11.2 実時間イベントへの参加形態

表 3.5 に CPARSE における実時間イベントへの参加形態を示す。CPARSE では 4 つのスペースへの関与の仕方により 15 種類の参加形態を記述できる。

表 3.5: 実時間イベントへの参加形態

	ローカルスペース	プライマリスペース	リエゾンスペース	オートノマススペース
参加形態 1	○			
参加形態 2		○		
参加形態 3			○	
参加形態 4				○
参加形態 5	○	○		
参加形態 6	○		○	
参加形態 7	○			○
参加形態 8		○	○	
参加形態 9		○		○
参加形態 10			○	○
参加形態 11	○	○	○	
参加形態 12	○		○	○
参加形態 13		○	○	○
参加形態 14	○	○		○
参加形態 15	○	○	○	○

参加形態 1 : ローカルスペース

ローカルスペースにおける参加とは、ローカルコミュニケーションを伴う参加である。複数の参加者が集合する実空間における参加形態である。教室内の授業や会議、コンサートホール内の演奏会等、ローカルスペースにおけるローカルコミュニケーションだけで全てのコミュニケー

3.11. 実時間イベントへの参加

ションが完結する。また参加者が集合しローカルコミュニケーションするため非同期での参加はできない。

参加形態 2:プライマリスペース

プライマリスペースだけを用いた参加形態は、自宅等から1人でテレビ会議システム等の双方向映像音声メディアエレメントを用いて遠隔地との会議や授業に参加したり、ライブストリーミングの片方向映像音声メディアエレメントでイベントの様子を視聴する参加形態である。具体的にはskype等によるビデオ通話やスポーツやコンサート等の視聴があげられる。

プライマリスペースで利用されたメディアエレメントを映像や音声アーカイブ等により保存する事で非同期でも参加できる。

参加形態 3 : リエゾンスペース

リエゾンスペースだけを用いた参加形態は、リエゾンスペースのメディアエレメントがローカルスペースやプライマリスペースにおける参加者以外にも情報を共有する能力を持つ場合に限り、可能である。

例えば授業や講演会においてリエゾンスペースのメディアエレメントとしてソーシャルメディアが設定された場合、ローカルスペースやプライマリスペースにおける参加者が、発言内容の要約やコメント等をリエゾンスペース上で共有することによって議論が生まれる。この時ソーシャルメディア上の繋がりにより、ローカルスペースやプライマリスペースでの参加者以外にもリエゾンスペースでの議論に参加できる。これを参加形態3として記述する。

参加形態 4:オートノマススペース

参加形態3のリエゾンスペースにおける参加同様にローカルスペースやプライマリスペースで共有される情報以外を用いた参加形態である。参加形態3がオペレータにより提供されるメディアエレメントを用いるのに対し、利用されるメディアエレメントが参加者により自律的にオペレーションされる点で異なる。

参加形態 5:ローカルスペース+プライマリスペース

ローカルスペース+プライマリスペースでの参加形態は、参加形態1と参加形態2が統合された環境である。複数の会議室を接続した遠隔会議や複数実空間を接続する遠隔授業等における参加形態である。同一実空間内ではローカルスペースにおけるローカルコミュニケーションがおこなわれる。他の実空間の参加者とは、プライマリスペースにおいて発言内容や資料といったイベント毎に目的達成に必要な情報が音声や映像等のメディアエレメントにより共有される。本研究では6章において本参加形態における遠隔授業環境のオペレーションについて議論する。

参加形態 6: ローカルスペース+リエゾンスペース

ローカルスペース+リエゾンスペースによる参加形態は、参加形態 1 と参加形態 3 が統合された環境である。教室内の授業等ローカルスペースでのローカルコミュニケーションにより行われる実時間イベントに、教員が提供する BBS やソーシャルメディア等プライマリスペースのメディアエレメントによるコミュニケーションが追加された参加形態があげられる。この時リエゾンスペースにおける参加者はローカルスペースでの参加者とは限らない。

参加形態 7: ローカルスペース+オートノマススペース

ローカルスペース+オートノマススペースによる参加形態は、参加形態 1 と参加形態 4 を統合した参加形態である。教室内の授業等ローカルスペースでのローカルコミュニケーションにより行われる実時間イベントに、メールや IM による参加者間のチャット、ソーシャルメディアへのコメント等参加者により自律的に行われるオートノマススペースのコミュニケーションが追加された形態である。この時オートノマススペースにおける参加者はローカルスペースでの参加者とは限らない。

参加形態 8: プライマリスペース+リエゾンスペース

プライマリスペース+リエゾンスペースによる参加形態は、参加形態 2 と参加形態 3 が統合された参加形態である。プライマリスペースでは、片方向映像音声メディアエレメントとして用いるライブストリーミングによる参加をし、リエゾンスペースではオペレータにより提供される BBS や字幕表示システム等のメディアエレメントを用いて感想やコメントを共有して参加する。プライマリスペースとしてテレビ放送メディアエレメントとして参加しながら特定の Twitter ハッシュタグや Ameba の TV 実況なう等をリエゾンスペースのメディアエレメントとして参加する状態である。

参加形態 9: プライマリスペース+オートノマススペース

プライマリスペース+オートノマススペースによる参加形態は参加形態 2 と参加形態 4 が統合された参加形態である。参加形態 8 と同様にプライマリスペースでは片方向映像音声メディアエレメントとして用いるライブストリーミングによる参加をし、オートノマススペースでは独自に IM によるチャットや電話等をメディアエレメントとした特定の相手もしくは特定コミュニティとのコミュニケーションをおこなう。

参加形態 10: リエゾンスペース+オートノマススペース

リエゾンスペース+オートノマススペースによる参加形態は、参加形態 3 と参加形態 4 が統合された参加形態である。ローカルスペースやプライマリスペースにおいて参加しないためコミュニケーションに用いられる二次的情報による参加となる。

参加形態 11:ローカルスペース+プライマリスペース+リエゾンスペース

ローカルスペース+プライマリスペース+リエゾンスペースによる参加形態は、参加形態5に参加形態3が加わった物である。具体的には、複数教室間を接続した遠隔授業においてローカルスペースである教室内でのローカルコミュニケーション、プライマリスペースでの遠隔教室での受講と教室間での質疑応答、リエゾンスペースでの授業進行を妨げないディスカッションによる実時間イベントがあげられる。

参加形態 12:ローカルスペース+リエゾンスペース+オートノマススペース

ローカルスペース+リエゾンスペース+オートノマススペースによる参加形態は、参加形態6に参加形態4が加わった物である。具体的には、参加形態6で述べたリエゾンスペースでのコミュニケーションを取り入れた教室内での授業等のローカルコミュニケーション中に、参加者が独自のコミュニケーション手段によるコミュニケーションをオートノマススペースにおいておこなう形態である。

参加形態 13:プライマリスペース+リエゾンスペース+オートノマススペース

プライマリスペース+リエゾンスペース+オートノマススペースによる参加形態は参加形態8にオートノマススペースが加わった形態である。プライマリスペースにテレビ放送やライブストリーミング等のメディアエレメントを用い、リエゾンスペースではTwitter ハッシュタグやFacebook グループ等によるコメントや感想を共有する。あわせてIM や電話等もしくはLINE 等の独自のコミュニケーション手段をオートノマススペース上のメディアエレメントとして持つ参加形態である。

参加形態 14:ローカルスペース+プライマリスペース+オートノマススペース

ローカルスペース+プライマリスペース+オートノマススペースによる参加形態は、参加形態5にオートノマススペースが加わった形態である。具体的には教室間の遠隔授業等ローカルスペースでのローカルコミュニケーションとプライマリスペースでの複数実空間でのコミュニケーションが可能な実時間イベント中に、オートノマススペースにおいてIM によるチャットやメール等をメディアエレメントとした私語や私的なディスカッションが可能な参加形態である。

参加形態 15:ローカルスペース+プライマリスペース+リエゾンスペース+オートノマススペース

ローカルスペース+プライマリスペース+リエゾンスペース+オートノマススペースは全てのスペースにおいて参加者間のコミュニケーションが発生する参加形態である。本研究では、4章と5章において本参加形態における実証実験について議論する。

3.11.3 セマンティクスグループ

CPARSE による実時間イベントへの参加者は、時間の同期・非同期及び、実空間・サイバー空間による参加形態により分類される。実際の実時間イベントでは参加者の所属や趣味嗜好によるグルーピングも存在する。例えば野球中継では同じ生放送を個人で視聴するサイバー空間上の参加者であっても A チームのファンと B チームのファンという分類方法や、仕事中の視聴者と食事をしながらの視聴者といった分類が可能である。

CPARSE ではこうした実時間イベント参加者を分類しグルーピングするキーとなる参加目的、所属、状態、趣味、現在地、賛成か反対か等をセマンティクスグループと記述する。実時間イベントにおいて参加者は複数のセマンティクスグループに属することが可能である。CPARSE では異なる参加形態であっても同一セマンティクスグループで参加する他の参加者とコミュニケーションできる。

3.12 本章のまとめ

本章では、本研究が提案する新しい実時間イベントアーキテクチャ CPARSE の理念と構成要素について述べた。CPARSE のオペレーションメタスペースでは、サイバーフィジカルシステムによるアプローチを用いてデバイスやサービスを抽象化し、複数実空間とサイバー空間を統合した実時間イベントのオペレーションのモデル化をおこなった。

参加者間のコミュニケーションを、実時間イベントの主要な目的に関連するプライマリスペース、主催者が提供しプライマリスペース以外の関連するコミュニケーションを実現するリエゾンスペースと参加者が自律的に利用するオートノマススペースによりモデル化した。

第4章 実証実験：クラシックコンサートの大規模共有

本章では、クラシックコンサートの大規模共有について述べ、2章で述べた実時間イベントにおける課題のうち、主にコミュニケーション品質が低い点と参加者のグルーピングができない点について述べる。クラシックコンサートは通常演奏会場内に閉じたローカルコミュニケーションである。本実証実験ではローカルスペースの演奏会場でのローカルコミュニケーションをサイバー空間のプライマリスペースとリエゾンスペースに拡張しサイバー空間上の個人参加者と演奏を共有する。また演奏会場とは異なるローカルスペースであるパブリックビューイング会場を構築し、実空間における実時間イベントをサイバー空間を用いて他の実空間に拡張する。

4.1 本章の位置付け

本研究では、付録Aに示すように、CPARSEを用いた数多くの実時間イベントを実践し、提案したアーキテクチャの有用性を実証した。

これらの実装のうち、本章では、クラシックコンサートの大規模共有をおこなった実時間イベント「ベートーヴェンは凄い！全交響曲連続演奏会 2010」における実証実験について述べる。本実証実験では、2章で述べた実時間イベントの課題に対して、(1)プライマリスペースにおけるメディアエレメントの品質向上、(2)リエゾンスペースのメディアエレメントへのソーシャルメディアの採用、(3)複数実空間に分散するオペレータ間のコミュニケーション手段を確立し、それらの課題を解決した。本章では、実証実験において構築した実時間イベント環境とその評価について述べる。

4.2 実時間イベントの概要と目的

4.2.1 クラシックコンサートの概要

本実証実験は、2010年12月31日に東京文化会館大ホールでおこなわれた「ベートーヴェンは凄い！全交響曲連続演奏会 2010」において実施した。対象としたクラシックコンサートは、ロリン・マゼール氏の指揮によるオーケストラ演奏で、休憩を挟みつつベートーヴェンの交響曲1番から9番までを13時から24時にかけて演奏する実時間イベントであった。

4.2.2 目的

本実証実験は、指揮者ロリン・マゼール氏の希望である「80歳になる今年(2010年)最後の演奏を世界に向けて発信したい」というたつての希望を達成することを目的とし、世界中の音楽ファンに高品質なクラシックコンサートを共有することを目的としておこなわれた試みである。

4.2.3 課題

ロリン・マゼール氏の希望である世界中の音楽ファンとの演奏の共有には、以下に挙げる課題があった。

- 会場の物理的制約
- 既存の放送メディアの限界
- メディアエレメントの品質
- 参加者間のソーシャルな繋がり

演奏会場の東京文化会館大ホールの定員はおよそ2000人であり、収容人数には物理的制約がある。世界中の全てのファンが、コンサート当日に、会場に集合することは不可能である。従って、実空間の会場を使用した演奏の共有だけでは、目的を達成することはできない。

既存の放送メディアにも限界がある。テレビやラジオ放送等の既存の放送メディアは、会場の収容人数をはるかに超える多数の視聴者に、演奏を伝送することができる。しかし、当日のイベント時間で既存の放送メディア活用は困難であった。日本では演奏会当日は大晦日であり、NHK紅白歌合戦をはじめとし定番の年越し番組が集中しており、新たにクラシックコンサートを生放送番組として放送できる放送局は限られる。また、途中で休憩を挟みつつ、1つの演奏会を10時間以上連続して放送し続けることは、地上波テレビ番組では難しい。海外との共有も、放送範囲や権利処理等の多くの問題があり現実的ではない。そのため放送メディアを用いた共有は、利用できなかった。

従って本実証実験では、インターネットを用いた演奏会への遠隔参加をおこなうこととした。オーケストラ演奏のインターネット配信は、2001年1月4日には、小澤征爾／サイトウ・キネン・オーケストラ特別公演のインターネット配信がIJJにより提供される等、数多くの試みがおこなわれてきた[7]。現在では、ベルリンフィルデジタルコンサートホール[8]のように、演奏会を有料でインターネット配信する商用サービスも存在する。しかし、1章で述べたMTM Londonによる調査結果や、2章で述べた既存実時間イベントの課題であげたように、オンラインでの芸術・文化コンテンツの視聴では、コミュニケーション品質や他者とのソーシャルな繋がりにも不満が残る。インターネット配信で用いられる、映像や音声のストリーミング等のメディアは、CPARSEではプライマリスペースにおけるメディアエレメントである。これらのメディアエレメントのフォーマット（映像解像度、フレームレート、音声サンプリングレート等）は、日々向上している。しかし、多くの場合テレビ放送に劣るものが多い。メディアエレメントのフォーマット上の違いだけでなく、コンテンツの品質も同様に重要である。会場内のカメラやマイク数が少なかったり、カメラマンやミキシング担当スタッフが音楽的視点を持たない場合、配信されるコンテンツと視聴者が見たいものが異なりストレスを感じる。

片方向の動画配信では、他の参加者とのソーシャルな繋がりによるコミュニケーションが失われる。日本では12月に入ると数多くの「第九」の演奏会が開催され、多くのクラシックファンが参加する恒例行事となっている。本実証実験をおこなう「ベートーヴェン交響曲連続演奏会」も毎年実施される恒例行事の1つであり、会場に足を運ぶクラシックファンにとって一年を締めくくる重要なイベントである。参加者は、正装で参加し他の参加者と時間を共有しながら演奏を愉しむだけでなく、終演後に指揮者や演奏者へ拍手や歓声を送ることや、友人や知人とのイベント参加を話題の中心としたコメントや感想の共有、及び雑談等によるコミュニケーションを通して

4.3. 設計

イベントへ参加している。しかし、こうした会場での他の参加者とのコミュニケーションは、片方向のメディアエレメントを利用するインターネット配信では実現しない。

4.3 設計

4.3.1 設計要件

本実証実験では、CPARSEによる実時間イベントの設計要件として以下を定めた。

- 演奏会場では例年通りのクラシックコンサートとして実施すること
- 世界中のファンが多様な参加形態で参加できること
- 参加形態毎に高品質なメディアエレメントを提供できること

演奏会場では、通常クラシックコンサートとして実施し、演奏会場内でのローカルコミュニケーションへ演奏以外のノイズとなる情報を増やさないこととした。

演奏会場外からの参加者は、世界中のファンへ共有することを前提とする。従って、デスクトップ環境からモバイル環境まで、インターネット接続手段や利用するデバイスが異なる多様な参加環境から参加できることとする。また、ローカルスペースにおける参加者間コミュニケーションが可能な、パブリックビューイング会場を設ける。

特に、プライマリスペースのメディアエレメントは、複数フォーマットを用いてコンサートを提供することにより参加環境に応じて最適なメディアエレメントを用いてコンサートへ参加可能とした。

4.3.2 参加者の参加形態

本実証実験では、参加者の参加形態を以下の様に想定し、実時間イベント環境全体の設計をおこなった。

(A) 演奏会場

演奏会場から参加する参加者の参加形態とする。本参加形態には、指揮者、演奏者、観客が含まれる。演奏中はローカルスペースのみで参加し、演奏中以外はリエゾンスペースやオートノマススペースにも参加できる。

ローカル：○

プライマリ：×

リエゾン：△ (演奏中は不可)

オートノマス：△ (演奏中は不可)

(B) パブリックビューイング

パブリックビューイング会場から参加する参加者の参加形態とする。演奏会場と異なり、プライマリスペースでの参加で演奏会場でおこなわれる演奏を鑑賞し、他のパブリックビューイング会場参加者とローカルスペースにおいてローカルコミュニケーションにより時間と場

所を共有して参加する。演奏会場と同様に、演奏時以外はリエゾンスペースやオートノマススペースに参加できる。

ローカル：○

プライマリ：○

リエゾン：△ (演奏中は不可)

オートノマス：△ (演奏中は不可)

(C) 個人参加

(A) 演奏会場，(B) パブリックビューイング会場，以外の参加者でローカルスペースに参加しない参加者の参加形態とする。プライマリスペースで演奏会場でおこなわれる演奏を鑑賞し，参加者の判断により必要があれば，リエゾンスペースやオートノマススペースに参加できる。

ローカル：×

プライマリ：○

リエゾン：○

オートノマス：○

(D) 個人参加 (複数)

(C) 個人参加による参加者が複数人集合し，ローカルスペースでのローカルコミュニケーションを持った参加形態とする。(C)と同様にプライマリスペースでおこなわれる演奏を鑑賞し，リエゾンスペースやオートノマススペースにも参加できる。同一実空間に複数の参加者が存在するため，ローカルスペースでのローカルコミュニケーションが発生する。

ローカル：○

プライマリ：○

リエゾン：○

オートノマス：○

4.3.3 ローカルスペースの設計

図4.1に本実証実験における実時間イベント環境を示す。本項では，実時間イベントにおける各スペースの設計について述べる。

演奏会場

クラシックコンサートにおける演奏会場での参加には特別な意味があり，テレビやラジオ放送，もしくはより高品質な他の方法を用いた遠隔参加よりも，会場での参加を好むファンは多い。また指揮者や演奏者にとっても，一年の終わりの演奏会を多くの観客と会場で一体となって共有することは価値がある。本実証実験では，指揮者や演奏者を無人のスタジオに配置するのではなく，観客のいる実空間の演奏会場を設けることとした。

図中 R_1 を演奏会場， R_2 をパブリックビューイング会場とする。 P_1 は，演奏会場から参加する指揮者， P_2 から P_{100} をオーケストラの演奏者とする。そして， P_{101} から P_{2000} を演奏会場から参

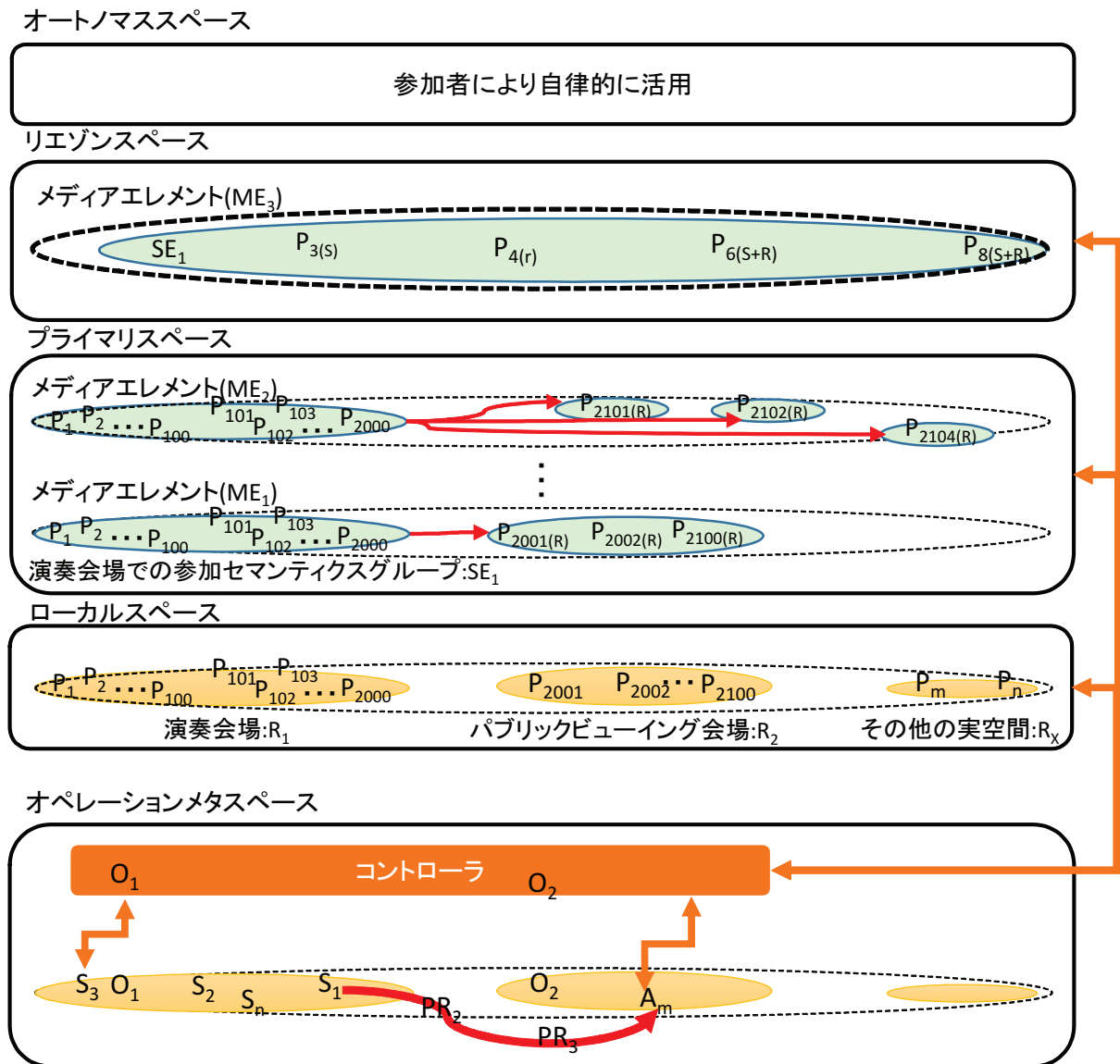


図 4.1: クラシックコンサート実証実験全体図

加する観客とする（会場の物理的定員が 2000 人の場合）。これらの参加者の参加形態は、(A) 演奏会場の参加形態である。

P_2 から P_{100} のオーケストラ演奏者は、 P_1 による指揮、互いの演奏、観客からの視線や歓声等をローカルコミュニケーションにより共有しながら参加する。また P_{101} から P_{2000} の参加者もローカルコミュニケーションにより指揮や演奏を他の参加者の存在を感じながら鑑賞する。

通常クラシックコンサートがおこなわれる演奏会場では、演奏中の私語や携帯電話の利用が禁止されている。演奏中の途中入場も制限されており演奏会場内は静粛が保たれる。本実証実験では、演奏会場における参加形態をローカルコミュニケーションのみとし、通常の演奏会場内と同様に携帯電話の利用や、途中入場を制限する。従って R_1 から参加する参加者は、ローカルコミュニケーションが可能でも演奏中は、私語や雑音をたてず静粛を保ち演奏に集中する。従って、リ

エゾンスペースやオートノマススペースにおけるコミュニケーションにも関与しない。イベントの前後やイベント中の休憩時間にはリエゾンスペースやオートノマススペースでのコミュニケーションに参加できる。

パブリックビューイング会場

演奏会場での参加は、参加者にとって最高の体験である。しかし演奏会場の収容人数には上限があり、遠隔地の参加者は会場に集合することが難しい。そのため、全ての参加希望者が演奏会場で参加することは不可能である。

本実証実験では、プライマリスペースにおいて高品質のメディアエレメントを用いたパブリックビューイング会場を設け、ローカルコミュニケーションによる他の参加者との時間共有を実現しながら、イベントに参加できる参加形態を提供した。

パブリックビューイング会場 R_2 では、 P_{2001} から P_{2100} のパブリックビューイング会場における参加者が集合しイベントへ参加する(会場の物理的定員が100名の場合)。パブリックビューイング会場では、 R_1 の P_1 から P_{100} による演奏は、プライマリスペースのメディアエレメントにより伝達される。しかし P_{101} から P_{2000} の演奏会場参加者のコメントや感想の共有等は、パブリックビューイング会場に参加する参加者には、共有されない。パブリックビューイングの参加者は、ローカルスペースでは、 P_{2001} から P_{2100} の同一実空間で参加する参加者間でのみ、互いの存在や拍手や歓声、休憩時間の感想やコメントの共有等をローカルコミュニケーションによりおこなう。

その他の実空間会場

演奏会場やパブリックビューイング会場以外で、複数の参加者が集合して参加する地点を R_X とする。同一実空間から参加する参加者 P_m と P_n は、(D) 個人参加(複数)による参加者である。参加者 P_m と P_n は、ローカルコミュニケーションにより互いの存在、拍手、歓声、コメント等を共有しながらイベントに参加する。会場に参加できる参加者数は各会場により異なる。また演奏はパブリックビューイング会場と同様にプライマリスペースで共有する。 R_X では、演奏会場やパブリックビューイング会場と異なり携帯電話の利用や私語に関する規定はない。参加者 P_m や P_n は、演奏中でもローカルコミュニケーションによる会話が可能なよりカジュアルな参加形態であり、リエゾンスペースやオートノマススペースにおける他の参加者とのコミュニケーションにも、常時参加できる。

4.3.4 プライマリスペースの設計

プライマリスペースでは、参加形態(B),(C),(D)の参加者へクラシックコンサートへの参加の目的となる演奏を共有する。本実証実験では、フォーマットの異なる複数のメディアエレメントにより映像、音声、もしくはその両方を伝達する。

本実証実験では、プライマリスペースでのコミュニケーションに用いられるメディアエレメントを以下の方針で設計した。

- 演奏会場内のコミュニケーション(演奏や雰囲気)のみ共有
- パブリックビューイングからモバイル環境まで幅広い環境へ対応

4.3. 設計

- 実空間からの高品質な情報の取得

本実証実験においてプライマリスペースのメディアエレメントは演奏会場 R_1 内の参加者によるコミュニケーションを共有する。具体的には、演奏会場内の参加セマンティックスグループ SE_1 内で、指揮者 P_1 による指揮の様子、 P_2 から P_{100} の演奏者による演奏、 P_{101} から P_{2000} の参加者による拍手や歓声等を共有する。本実証実験では、他の実空間のコミュニケーションは共有しない。従って片方向のメディアエレメントで映像や音声を用いる。

インターネット接続速度や所有デバイスの差異等による多様な環境へ対応するため、演奏を複数の異なるフォーマットのメディアエレメントで伝達し、参加者環境や参加形態に応じて適切なものを選択する。本実証実験では、パブリックビューイング会場では、最も高品質なメディアエレメントを用いることを定める。パブリックビューイング以外の (C) 個人参加、(D) 個人参加 (複数) の参加者は、複数フォーマットで提供されるメディアエレメントから、参加環境において適切なものを各自で選択することを定める。

プライマリスペースで参加者が共有する情報の品質は、メディアエレメントのフォーマットだけでなく、その内容にも大きく影響されるため実空間からの高品質な情報の取得が必要である。映像メディアエレメントを例とすると、演奏会場での参加者は会場全体を自由に見渡すことができる。また、各自の意思で個別に視線を移動でき、特定の演奏者や指揮者に注目できる。しかしプライマリスペースでの参加時には、コントローラによる制御で切り替えられた映像だけで参加することとなり自由に視線を動かさない。従って、独唱やソリストの演奏等の曲の盛り上がりに対応した楽器の演奏者や指揮者に映像を切り替える適切なカメラワークは必須である。音声に関しても、オーケストラ全体のバランスを考慮して、各楽器毎に集音される音声を、会場の壁や天井の反響音等も考慮した適切なバランスでミキシングしたものを共有しなければならない。こうしたオペレーションには、技術を熟知するだけでなく演奏する曲目を理解し、楽譜から観客の興味を引く演奏者や指揮者の動きを先読みできなければならない。

本実証実験では、クラシックコンサートの伝送を熟知したテレビ放送における番組制作スタッフをオペレータに用い、プライマリスペースのメディアエレメントで共有される情報を制作する。

4.3.5 リエゾンスペースの設計

本実証実験では、リエゾンスペースを用いて (1) プログラムや技術情報等の提供、(2) 参加者間のコミュニケーションをおこなう。この時、プライマリスペースでのコミュニケーションである演奏の鑑賞を妨害しないこととする。前者は、オペレーションメタスペースのコントローラにより発信される情報を参加者に共有する。コントローラは、イベントの概要やプライマリスペースで提供するメディアエレメントの利用方法等をリエゾンスペースのメディアエレメントを用いて参加者に提供する。後者は、参加者間コミュニケーションを希望する参加者間で、コメントや感想を共有し、サイバー空間上での参加でも参加者間のソーシャルな繋がりを維持することを目的とする。

リエゾンスペースは、イベント情報の共有と参加者間コミュニケーション誘発のため、実時間イベントの開始前から利用可能とする。またイベント終了後も利用できることとする。

本実証実験では、リエゾンスペースのメディアエレメントにソーシャルメディアの一部を用い、リエゾンスペースにおける参加者全員のセマンティックスグループ SE_2 を形成する。利用するメディアエレメントには、双方向の文字や写真等の演奏 (音) を妨害しないフォーマットを用いることと

する。またリエゾンスペースへの参加は任意として、参加を希望しない参加者は、プライマリスペースにおける参加に集中できることとする。

4.3.6 オートノマススペースの設計

演奏中の演奏会場とパブリックビューイング会場では、客席を静寂に保ち演奏に集中するため、スマートフォンやタブレットPC等のデバイスの利用を禁止する。従って演奏中には、オートノマススペースを用いたコミュニケーションに参加できない。演奏会場とパブリックビューイング会場以外の参加者は、デバイスの利用を制限しないためリエゾンスペース同様にイベントの他の参加者、友人、知人等との自由なコミュニケーションをおこなう。演奏会場やパブリックビューイング参加者も、休憩時間やイベントの前後には、オートノマススペースにおけるコミュニケーションに参加できることとする。

4.3.7 オペレーションメタスペース

オペレーションメタスペースでは、プライマリスペースとリエゾンスペースにおけるメディアエレメントによる情報伝達を実現するため、実空間とサイバー空間の参加者間のコミュニケーションやデバイスとサービスの監視と制御をおこなう。

CPARSEでは、複数オペレータの集合によるコントローラがオペレーションをおこなう。本実証実験でも、演奏会場とパブリックビューイング会場という複数の実空間が存在し、オペレータも地理的に分散する。従ってコントローラ内部で必要となるオペレータ間のコミュニケーション手段は、ローカルコミュニケーションでは実現しない。本実証実験では、複数実空間に分散するオペレータ間の情報共有に双方向文字列メディアエレメントをオペレーションメタスペース内に持ち、オペレータ間で情報伝達することとする。このメディアエレメントは、映像音声を扱うオペレータの業務に干渉しないため文字を用いる。また本メディアエレメントは、各オペレータからのpullではなくメディアエレメントから情報がpushされ高い即時性を持つことを定める。拠点内でのオペレータのコミュニケーションにはローカルコミュニケーション、または拠点間での連絡に用いたメディアエレメントが利用できることとする。

4.4 実装

4.4.1 ローカルスペースの実装

本項では、実証実験において構築した参加者の集合する実空間の会場の実装について述べる。

演奏会場

本実証実験における演奏会場の概要を、表4.1に示す。演奏会場での参加者数の上限は、オーケストラ演奏者約100人と観客の定員2,303人の合計でおよそ2,400人である（オペレータを除く）。参加者は事前にチケットを購入するか、当日会場当日券を購入してイベントに参加する。

演奏会場は通常のクラシックコンサート同様として、携帯電話の利用や途中入場を禁止した。演奏中の演奏会場内では、指揮者と演奏者の演奏に集中し参加者は演奏中の私語等の私的なコミュニ

4.4. 実装

ケーションは自粛する。参加者は他の会場や個人参加者とプライマリスペースやリエゾンスペースでコミュニケーションはおこなわない。

表 4.1: 演奏会場概要

会場名	東京文化会館大ホール
所在地	東京都台東区上野公園 5-4-5
定員	2,303 席 (観客)

パブリックビューイング会場

パブリックビューイング会場の概要を、表 4.2 に示す。パブリックビューイング会場からは観客だけが参加し、参加者数の上限は 100 名である。パブリックビューイング会場での参加者は、参加費用は無料とする。先着順で当日会場に登録をおこない参加する。プライマリスペースのメディアエレメントの仕様上、3D 視聴時に専用眼鏡が必要となるため、定員以上の参加はできない。

パブリックビューイング会場でも演奏会場と同様に演奏中の私語、携帯電話の利用、途中入場を禁止して、ローカルスペースにおけるローカルコミュニケーションに集中出来ることとした。

表 4.2: パブリックビューイング会場概要

会場名	慶応大学日吉キャンパス協生館 CDF ルーム
所在地	神奈川県横浜市港北区日吉 4-1-1
定員	100 席 (観客)

参加形態 (D) による実空間の会場

本実証実験では、個人参加者が複数集合して、ローカルスペースでのローカルコミュニケーションを持ちながらイベントに参加する場合、その実空間は参加者により自律的にオペレーションされる。コントローラからは、実空間で発生する参加者間のローカルコミュニケーションの場所や、実空間の場所等一切の情報を監視できない。そのため、CPARSE によるオペレーション範囲外となる。

4.4.2 プライマリスペースの実装

本実証実験では、プライマリスペースのメディアエレメントを以下の通り実装する。

(1)Ustream HD

方向：片方向

映像：解像度 1280 × 720, 30fps, 2D

音声：16bit 48khz, 2ch

(2)Ustream 3DHD

方向：片方向
映像：解像度 1280 × 720, 30fps, 3D
音声：16bit 44.1khz, 2ch

(3)Ustream 3D mobile

方向：片方向
映像：解像度 640 × 360, 30fps, 3D
音声：16bit 44.1khz, 2ch

(4)Ustream audio

方向：片方向
映像：なし
音声：24bit 48khz, 2ch

(5)WMV 3D

方向：片方向
映像：解像度 1280 × 720, 30fps, 3D
音声：24bit 48khz, 5.1ch

(6)WMV 3D multicast

方向：片方向
映像：解像度 1280 × 720, 30fps, 3D
音声：24bit 48khz, 5.1ch

(7)WMP 96

方向：片方向
映像：なし
音声：24bit 96khz, 2ch

(8)WMP 48

方向：片方向
映像：なし
音声：24bit 48khz, 2ch

(9)SDI 3D

方向：片方向
映像：解像度 1920 × 1080, 30fps, 3D
音声：24bit 48khz, 5.1ch

図 4.2 に各メディアエレメントが必要とするネットワーク帯域と、デバイスへの要求による比較を示す。図中横軸は必要とされるネットワーク帯域を示し、縦軸はデバイスへの要求性能を示す。縦軸では、右側ほど多くの帯域を必要とする。横軸では、必要となる処理能力や特殊なデバイスの有無が表現され、図中上に行くほど 3D やサラウンド等のデバイスや処理能力の高いデバイスが必要となる。

本実装では、図中右上の参加形態 (B) パブリックビューイングを (9)SDI 3D メディアエレメント

4.4. 実装

により実装した。また、図中左側に示すように、参加形態 (C)(D) の個人参加の参加形態を7種類のメディアエレメントを用いて実装した。参加形態 (C)(D) で参加する参加者は、7種類のメディアエレメントから各自の環境に適した物を選択するか、複数メディアエレメントを組み合わせて参加する。

一般的なイベント中継では、休憩時間に機材設定の変更やテスト等の技術的な調整をおこなうことが多い。その場合には、休憩中に動画配信を一時停止したり、静止画へ切り替える等メディアエレメントでの情報伝達を停止することが一般的である。本実証実験では、休憩中もローカルスペース、リエゾンスペース、オートノマススペースにおいて参加者間のコミュニケーションが継続するため、プライマリスペースでも実時間イベント中は常時メディアエレメントによる情報伝達を継続するした。

映像を扱うメディアエレメントを用いて会場の引き映像、音声を扱うメディアエレメントを用いて会場の環境音を伝達して演奏会場の休憩中の雰囲気を共有した。

4.4.3 リエゾンスペースの実装

本実証実験では、リエゾンスペースのメディアエレメントとしてTwitterハッシュタグを用いた。Twitter(<http://twitter.com/>) はTwitter社により提供されるソーシャルメディアであり、その一部を双方向文字列メディアエレメントとして利用する。

実証実験では、最新情報を参加者へ伝達するためのTwitterユーザーアカウント「@ArtsforAll_Keio」を取得しイベント公式アカウントに定め、オペレーションメタスペースのコントローラからの情報提供に用いた。また、ハッシュタグ「#artsforall」を定義し、イベント参加者セマンティクスグループをハッシュタグによりグルーピングした。ハッシュタグ検索により、個々のユーザ間でのTwitter上のソーシャルな繋がりが無くとも、セマンティクスグループ内でコメントや感想等を共有できる。

オペレーションメタスペースのコントローラは、イベント中にリエゾンスペースの参加者間のコミュニケーションを監視し必要な制御をおこなう。本実装では、コントローラを構成するオペレータが各自のアカウントと公式アカウントを用いてTwitterハッシュタグ上の参加者間コミュニケーションを監視した。

イベント終了後のツイート内容の分析をおこなうため、「ハッシュタグクラウド (<http://hashtagcloud.net/>)」を用いてツイートを収集した。収集されたツイートはCSV形式で保存した。

4.4.4 オペレーションメタスペース

本項では、オペレーションメタスペースの実装について、各スペースにおけるメディアエレメントとの関係を示しながら述べる。はじめに本実証実験における、オペレータとコントローラの実装について説明する、次にプライマリスペースを構成するメディアエレメントのオペレーションについて説明し、その後リエゾンスペースを構成するメディアエレメントのオペレーションについて説明する。

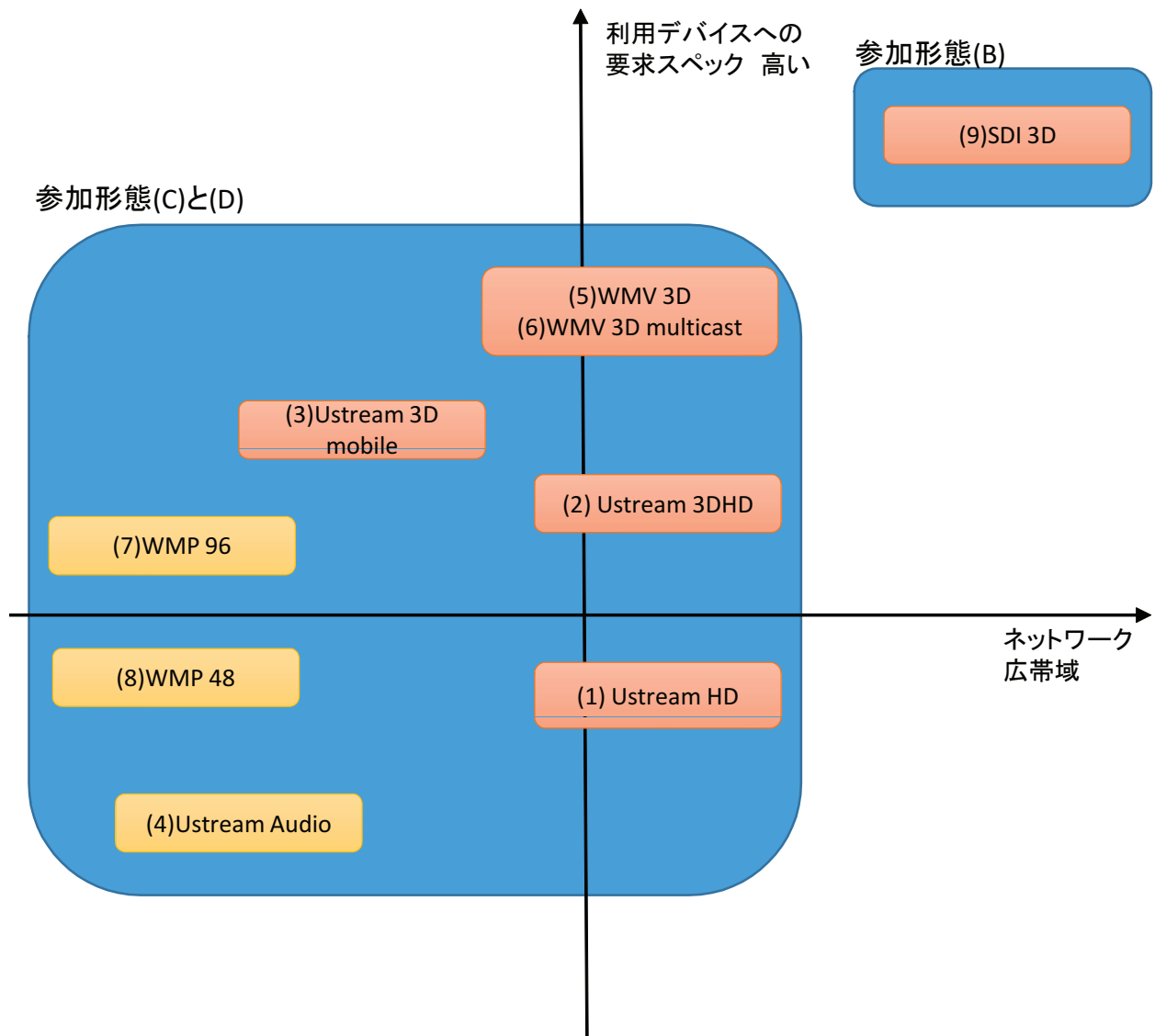


図 4.2: プライマリスペースのメディアエレメント比較

オペレータとコントローラ

本実証実験では、演奏会場となった東京文化会館大ホール、中継車、上野オペレーションルーム、日吉オペレーションルーム、パブリックビューイング会場の5地点にオペレータが分散しオペレーションを実施した。中継車と上野オペレーションルームは、東京文化会館敷地内である。日吉オペレーションルームとパブリックビューイング会場は共に慶応大学日吉キャンパス内である。

東京文化会館大ホールと中継車は、NHK メディアテクノロジー (NHK MT) に所属するオペレータがオペレーションを担当した。上野オペレーションルーム、日吉オペレーションルームは WIDE Project と慶応大学に所属するオペレータがオペレーションを担当した。また、パブリックビューイング会場では、慶応大学と NHK MT に所属するオペレータがオペレーションを担当した。また、プライマリスペースのメディアエレメントで用いた Ustream のオペレータが遠隔からオペレー

4.4. 実装

ションに参加した。実時間イベント中には、これら全てのオペレータ間で連絡を取り合い一体となってオペレーションをおこなった。図 4.3 に本実装におけるコントローラを示す。各オペレータ間では、双方向文字列メディアエレメントとして (1)IRC(Internet Relay Chat) もしくは skype による双方向の会話、双方向音声メディアエレメントである (2) インカムを用いた指示伝達、そして同一実空間内では、(3) ローカルコミュニケーション、の 3 種類のコミュニケーション手段を使い分け情報伝達をおこなった。IRC は同報性があり、情報を多数のオペレータへ同時に伝達できるメディアエレメントである。画面上に表示される文字列は、プライマリスパースのメディアエレメントで用いる映像や音声へノイズが混入しないため採用した。しかし、カメラマンや映像を調整するビデオエンジニアは、映像から目を離せないため文字列を用いたコミュニケーションは馴染まない。従って、演奏会場内のオペレータには、中継車内のオペレータが取捨選択した情報をインカムによる音声で伝達した。日吉オペレーションルームとパブリックビューイング会場は隣室でありオペレータの物理的な行き来が可能である。従って、必要に応じてオペレータ間のローカルコミュニケーションを用いた。Ustream エンジニアは、日吉オペレーションルームのオペレータから Ustream 関連の障害発生時に、skype を用いて問い合わせをおこなった。skype は双方向の映像、音声、文字等様々なメディアエレメントでコミュニケーションができるメディアであるが、本実装ではオペレータ間で双方向の文字を用いてチャット部分を双方向文字列メディアエレメントとして用いた。

日吉オペレーションルームでは、オペレータとして慶応大学の担当者がプライマリスパースのメディアエレメントを監視した。図 4.3 の日吉オペレーションルーム上部の写真に図示するように、ノート PC にヘッドフォンを接続した試験用端末を用いて複数のオペレータが、参加者と同じ環境でプライマリスパースのメディアエレメントを監視した。メディアエレメントに問題が生じた場合には、障害を検知したオペレータが IRC で障害情報を共有すると上位のオペレータがトラブルシューティングをおこなう体制を構築した。また 3D 映像とサラウンド音声環境についても同様に監視し、イベント中のプライマリスパースにおけるメディアエレメントやリエゾンスペースにおける参加者間コミュニケーション全体を監視した。

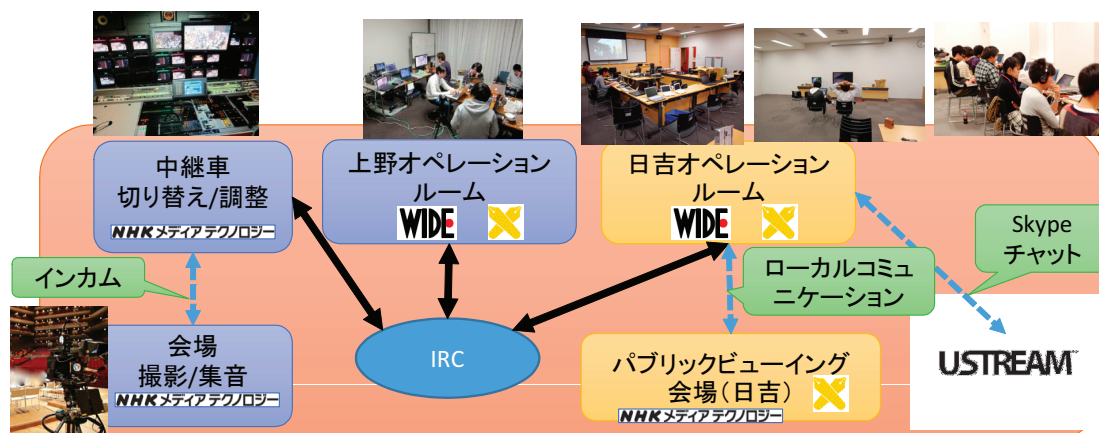


図 4.3: クラシックコンサートにおけるオペレータとコントローラの実装

プライマリスペースのメディアエレメント

CPARSEによる実時間イベントでは、メディアエレメントにより参加者間で共有される情報は、オペレーションメタスペースにおいてセンサが収集したセンシングデータをプロセッサが処理しアクチュエータで参加者へフィードバックされるコンテンツデータである。

本実証実験では、演奏会場におけるセンサによるセンシングやコンテンツデータ生成までのプロセッシングの一部をNHK MTが担当し、コンテンツデータのアクチュエータへの配信をWIDE Projectが担当した。

NHK MTはテレビ放送の番組制作をおこなう企業であり撮影や集音等の番組制作ノウハウを豊富に持つ。本実証実験では、NHK MTによるクラシック専門のカメラマンや音響スタッフが、演奏会場からの演奏のセンシングやコンテンツデータの生成を担当した。具体的には、オーケストラ演奏をセンシングするセンサとして、3Dカメラを左右の舞台袖、舞台上左側、会場中央に各1台ずつ設置し3D撮影を熟知したオペレータ（カメラマン）がそれを操作した。3Dカメラによりセンシングされた映像は、演奏会場敷地内の中継車へ送信され、演奏内容を熟知したディレクター（オペレータ）によりスイッチングされる。ディレクターは、同時にカメラマンへ撮影対象やカメラワークへの指示を出し映像制作全体をコントロールする。音声では、会場内に設置された28本のマイクを用いてセンシングをおこない、センシングデータ（音声）を中継車内のオペレータ（サウンドエンジニア）が5.1chサラウンド音声と2chステレオ音声にミキシングしてコンテンツデータを制作した。

中継車で生成されたコンテンツデータは、演奏会場内の別室に設けられた上野オペレーションルームと慶応大学日吉キャンパスC3S02に設けた日吉オペレーションルームでフォーマット変換のプロセッシングをおこない配信機能をもつサイバー空間上のプロセッサ（UstreamやWMVサーバ等）へ送られる。パブリックビューイング会場では、上野オペレーションルームから送信されるコンテンツデータをアクチュエータとなる機器が受信し3D映像（1920×1080）と5.1ch音声を会場へフィードバックするB.1。

本実証実験では、演奏会場における同一の演奏をフォーマットの異なる複数メディアエレメントにより伝達した。また同一フォーマットのメディアエレメントを複数のサービスにより実装した。これは、完全に独立した複数手段を用いることで冗長性を高める効果を期待している。Ustreamは、主に個人参加者を対象とした配信をおこなった。本実証実験が実施された2010年当時、Ustreamは24bit 96khzによる高サンプリングレート音声や、5.1chサラウンド音声に未対応であった。従ってWindows Mediaによる配信サーバをWIDE Cloud上に構築しストリーミング配信を実施した。UstreamのサービスとWIDE Cloudは完全に独立しており負荷分散も兼ねた。またSOI Asiaプロジェクト参加大学など学術機関における個人参加者やパブリックビューイングでは、サーバや回線の輻輳などに影響を受けず高品質なストリーミングを安定して受信できるようマルチキャストによる2D HD解像度+サラウンド音声配信をおこなった。

付録Bにパブリックビューイング会場でのローカルスペースとプライマリスペースでの参加、プライマリスペースのみの参加形態における環境、プライマリスペースとリエゾンスペースにおける参加形態での参加環境等の具体例を示す。

リエゾンスペース

リエゾンスペースでは、参加者がメディアエレメントを利用するためのデバイスとして、(a)Twitter 専用クライアント、(b)Twitter Web、(c) イベント公式 Web、(d)Ustream ソーシャルストリーム機能の 4 種類を定義した。これらはセンサとして参加者のツイートの収集をおこない、同時にコンテンツデータを参加者にフィードバックするアクチュエータとしても機能する。(c) のイベント公式 Web では、ページ内に Twitter ハッシュタグ検索結果を表示しアクチュエータとして機能する。(d) の Ustream ソーシャルメディアは、プライマリスペースで Ustream による実装 (メディアエレメント (1) から (4)) を用いて参加する参加者が利用できる。ソーシャルストリーム機能はセンサとしての機能とアクチュエータとしての機能を併せ持ち、Twitter ハッシュタグの読み書き両方が Ustream Web 上で実現した。図 B.5 の左側はプライマリスペースの片方向映像音声メディアエレメントであり、右側はリエゾンスペースの双方向文字列メディアエレメント (Twitter ハッシュタグ) である。

オートノマススペース

オートノマススペースは、参加者により自律的にオペレーションされる。従ってオペレーションメタスペースのコントローラは、オートノマススペースのコミュニケーションに関与しない。

本実証実験において利用されたオートノマススペースの詳細は、本実証実験の評価において説明する。

4.5 評価

4.5.1 各スペースにおける参加者数

以下に本実証実験におけるイベント参加者数を各スペース毎に述べる。

ローカルスペース

ローカルスペースにおける参加者は、演奏会場とパブリックビューイング会場である。

演奏会場の東京文化会館大ホールは約 2,000 人の観客が参加しほぼ満席となった。参加者の中には、プライマリスペースでの自宅からの参加後、休憩時間に演奏会場へ移動した者もいた。

パブリックビューイング会場は途中退出も可能であり述べ 80 名の参加者が参加した。

複数の個人参加者が集合して参加する参加形態 (D) によるローカルスペースでの参加者数は、その特性上収集できない。

プライマリスペース・リエゾンスペース

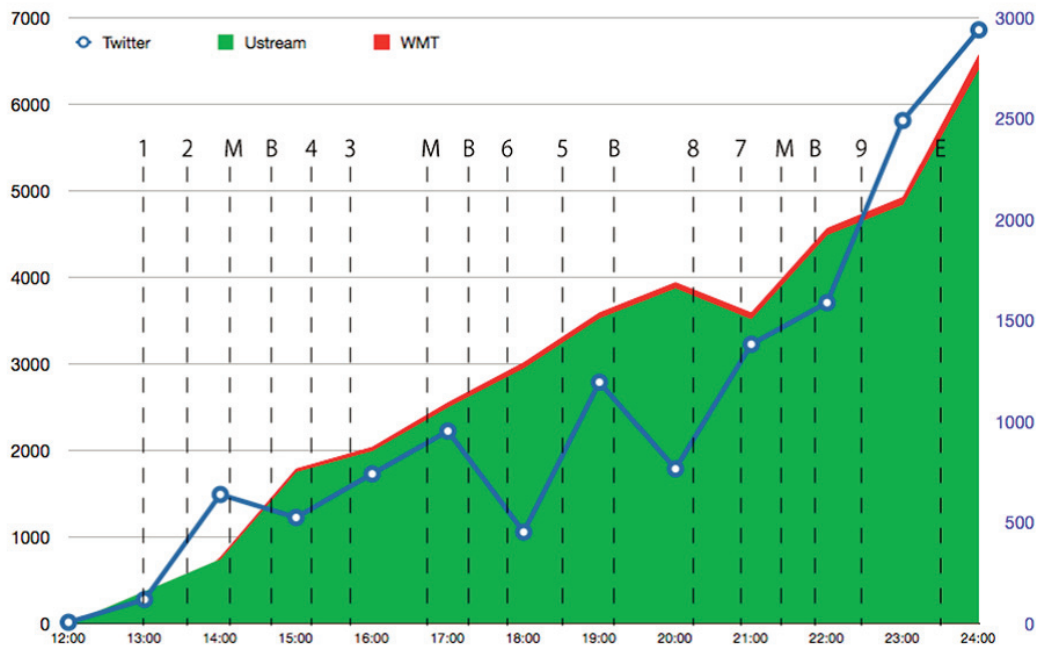


図 4.4: 演奏会中における同時視聴者数とツイート数

まず、4.4に、プライマリスペースのメディアエレメントとして用いた、Ustream(4種類の合計)、WMT (WMV,WMP 計4種類の合計) の同時アクセス者数と、リエゾンスペースで用いたメディアエレメントの Twitter ツイート数 (ハッシュタグ付き) の時系列推移を示す。本実証実験では、実時間イベントが半日程度継続した。この間、リエゾンスペースで用いた Twitter やオートノマス

4.5. 評価

スペースのメディアエレメントによって、イベントの情報が参加者からその周辺へ広まったと考えられる。その結果、時間の経過と共に各メディアエレメントに対するアクセス者数が増加し、演奏終了時にピークを迎えた。イベント中の参加者は、オートノマススペースにおいて twitter, メール, mixi, Facebook, もしくは電話等を用いてイベント情報の共有をおこなったと推測される。図 B.7 は参加者がオートノマススペースで電話を用いたと推測せるエビデンスである。Ustream 社の協力により得られた Ustream 視聴者の流入元サイト情報によると、動画視聴者の 2 割が twitter や mixi, Facebook からの流入であった。これは、イベント公式 Web ページ経由の視聴者数とほぼ同等の割合でありソーシャルメディアによるイベント情報の拡散を裏付ける。

表 4.3 に各イベントの遠隔参加者数として、Ustream へのアクセス数と Twitter における発言数 (ツイート数) を示す。本実証実験では、Ustream を利用した 4 つのメディアエレメントにのべ 117,992 のアクセスが集まった。ユニーク視聴者数でも、55,135 アクセスを集めており、東京文化会館大ホールの定員を大幅に上回る遠隔参加者が 50 カ国以上からイベントに参加した。リエゾンスペースのメディアエレメントの Twitter ではハッシュタグ「#artsforall」に 2,200 のアカウントから 14,821 ツイートを観測した。

これらの情報から、本イベントの目的である、ロリン・マゼール氏の「80 歳になる今年 (2010 年) 最後の演奏を世界に向けて発信したい」という希望に対し、実空間の会場定員を大きく超える参加者への演奏の共有と参加者間コミュニケーションの存在は、CPARSE を用いて構築した環境が目的に対し一定の成果をあげたと言える。

表 4.3: イベント参加者数

イベント名	ユニーク	のべ	ツイート数	ユニーク
	視聴者数	視聴者数		発言者数
演奏会 (Ustream)	55,135	117,992	14,821	2,200

4.5.2 プライマリスペースのコミュニケーション品質

本実証実験のプライマリスペースでは 9 種類のメディアエレメントを用いて演奏会場の演奏をパブリックビューイング会場の参加者や自宅等の個人参加者へ共有した。

パブリックビューイング会場

パブリックビューイング会場では、(9)SDI SD メディアエレメントにより演奏会会場から伝送された HD-SDI 信号 (1920 × 1080i, 30fps, サイドバイサイドの 3D) をサイドバイサイド 3D 対応の 180 インチのプロジェクタと 5.1ch サラウンドシステムへ入力し、フル HD 解像度の 3D 映像とサラウンド音声によるパブリックビューイングを実現した (図 B.1)。パブリックビューイング参加者を対象とした小木らの調査によると、パブリックビューイング参加者は、3D 映像の奥行き感や立体感を感じ、その品質を高品位な没入感のある物と認識した [25]。パブリックビューイング会場では、演奏終了直後におよそ 5 分間の長時間にわたって拍手が鳴り止まなかった。これは個人でのテレビ視聴時には観測されない現象であり、演奏会場における参加と同一の現象である。これは、(1) テレビ放送ではカットされ放映されない演奏会場からの拍手映像と音声、最後まで共有されていたこと、(2) パブリックビューイング会場内でも指揮者や演奏者を称えたいと感じ拍

手をおこなった参加者が存在したこと、の2つのが理由と考えられる。視聴だけでなく自らが拍手したり起立し行動することは、参加者のイベントへの参加意識を強めたとも言える。

個人参加者

自宅等から参加する個人参加者向けのメディアエレメントは、比較的低帯域なモバイルデバイス向けから HD 解像度の 3D 映像と 5.1ch サラウンド音声を併せ持つ物まで 8 種類を参加者に提供した。

本実証実験で参加者に提供した、プライマリスペースのメディアエレメントによる参加者環境例を付録 B に示す。一部のメディアエレメントでは、テレビ放送と同等以上のフォーマットを採用した。例えば 24bit, 96kHz の高サンプリングレート音声や 5.1ch サラウンド音声等のテレビ放送では利用できないフォーマットも採用されている。また一部の 3D 対応スマートフォンでは、モバイル環境であっても 3D 映像でのイベント参加を実現する等、参加者環境それぞれにおいて高品質なメディアエレメントによるイベント参加環境を提供できた。

参加者は主に、「(1)Ustream HD メディアエレメント」を一般的な PC で視聴しており、単一のメディアエレメントでの参加が多かった。しかし一部参加者は、24bit,96kHz の Windows Media 音声と Ustream の HD 映像を組み合わせる等、複数のメディアエレメントの組合せによる新たなメディアを自ら生み出している。その様子は、図 B.6 に示すようにリエゾンスペースで共有されることで他の参加者へも広がりを見せた。

メディアエレメントのコンテンツとしての品質

プライマリスペースにおけるメディアエレメントで共有した映像や音声は、本実証実験では、NHK MT を中心としたオペレータがテレビ番組品質で制作した。また、演奏時間中だけでなく休憩時間中も継続した、図 B.8 や図 B.9 に示すように、本実証実験において共有されたプライマリスペースのメディアエレメントは、多くの高い評価がリエゾンスペースの事後の分析から得られている。

片方向のメディアエレメントを用いたプライマリスペースでの参加では、拍手等のフィードバックを伝えることはできないため、遠隔参加する個人参加者の参加状況を会場参加者やパブリックビューイング参加者のように、直接監視することはできなかった。しかし、拍手をしたり立ち上がったという報告、また作業が手につかないことを伝える等の多くの報告がリエゾンスペースで共有されており、多くの参加者が満足したと推測できる。

4.5.3 リエゾンスペースにおける多様なセマンティクスグループ

本実証実験では、不特定多数の参加者が動的に入れ代わる個人参加者へのアンケート調査を実施していない。本研究では、リエゾンスペースのメディアエレメントとして用いた Twitter 上の参加者間のコミュニケーションから、イベント全般に対する満足度やプライマリスペースのメディアエレメントの品質に対する感想を抽出した。

本研究では、ソーシャルメディアにおける参加者の発言の解析に KHCoder を用いた。表 4.4 にイベントハッシュタグ「#artsforall」宛のツイートにおける頻出語 100 語を示す。最頻出語のマゼールは本演奏会の指揮者ロリン・マゼール氏であり、会話のあらゆるシーンにおいて指揮者が

4.5. 評価

話題になっていた事を示す。同様に3番目に頻出する楽章や7番目の交響曲など演奏について議論する際に必要な語句が多数検出された。

リエゾンスペースでの個人参加者間のコミュニケーションには、Ustreamのソーシャルストリーム機能経由が多く用いられた。これは、ソーシャルストリーム機能を用いた発言がUstream番組ページへのURLが付与されることから推測できる。番組ページへのURLが付与されていないツイートをおこなった参加者は、プライマリスペースでの参加に用いるデバイスとは別のデバイスを用いて、リエゾンスペースでのコミュニケーションに参加したと考えられる。

次に、図4.5に第九演奏中のツイート数を5分間隔で集計して、その発言内容を分析したグラフを示す。22:30頃に始まった第九の演奏開始前は休憩時間である。この時参加者間では、直前の演奏についての感想が共有されたり、第九の演奏に対する期待感等が共有されていた。また、休憩時間中に設置されたひな壇の設置作業の実況中継や視聴者数の急激な増加を指摘する等、複数のセマンティクスグループでそれぞれのコミュニケーションが発生していた。第九の演奏が開始されると、発言数は休憩時より減少したが、演奏に関する感想や増加を続ける視聴者数に対する発言等の参加者間での雑談も数多く発生していた。その後合唱が始まる前後には、一時的に発言数が減少した後演奏終了直後には拍手や歓声を表すツイートが集中した。感想や感謝などのツイートは全ての配信が終了した24時以降まで継続して発生した。

図4.6に演奏会がおこなわれる直前の13時から24時までのハッシュタグ「#artsforall」におけるツイートを5分間隔で分析したグラフを示す。第九以前においても同様に演奏開始前には期待感やソーシャルメディア上での紹介などが多く見られ、演奏終了直後には拍手や歓声を表す文字列が多数ツイートされた。視聴者数の増加に合わせ全体のツイート量も後半ほど多い。

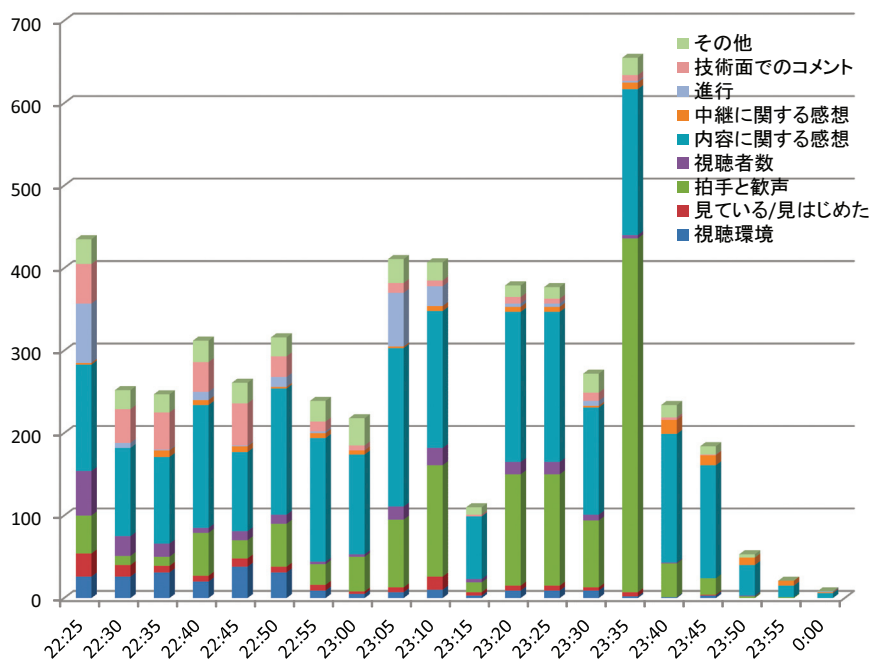


図 4.5: 第九演奏中の5分ごとのツイート数とその内容

表 4.4: 「#artsforall」における頻出100語

抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
マゼール	1335	途切れる	200	言う	110
888	1090	終わる	197	エロイカ	107
楽章	982	紅白	189	コンサート	107
音	711	中継	189	歓喜	105
演奏	682	大晦日	183	今年	103
聴く	668	次	180	ネット	102
ベートーヴェン	645	前	174	画像	102
交響曲	635	超える	172	テレビ	99
ブラボー	606	最高	163	感謝	96
凄い	536	行く	154	笑	93
見る	462	画質	149	速い	93
素晴らしい	414	聴ける	148	鳥肌	93
指揮	391	美しい	146	早い	91
始まる	361	時間	143	会場	90
良い	342	好き	142	歳	87
音声	330	出る	142	年末	87
映像	316	全曲	142	楽しい	86
人	309	ホルン	141	きれい	85
視聴	300	感動	140	感じる	84
ロリン	285	入る	140	アンコール	83
連続演奏会	283	拍手	135	歌	83
ベト	273	涙	134	聞こえる	83
聞く	264	音楽	133	放送	83
配信	249	感じ	131	ライブ	82
思う	247	高画質	129	画面	81
音質	232	クラシック	127	今日	81
田園	232	年	127	皆さん	80
休憩	231	曲	122	楽しみ	80
ベートーベン	228	歌う	114	年越し	79
運命	223	本当に	113	N響	78
テンポ	209	来る	113	来年	78
合唱	208	弦	112	綺麗	77
今	207	時代	111		
最後	203	観る	110		

4.5. 評価

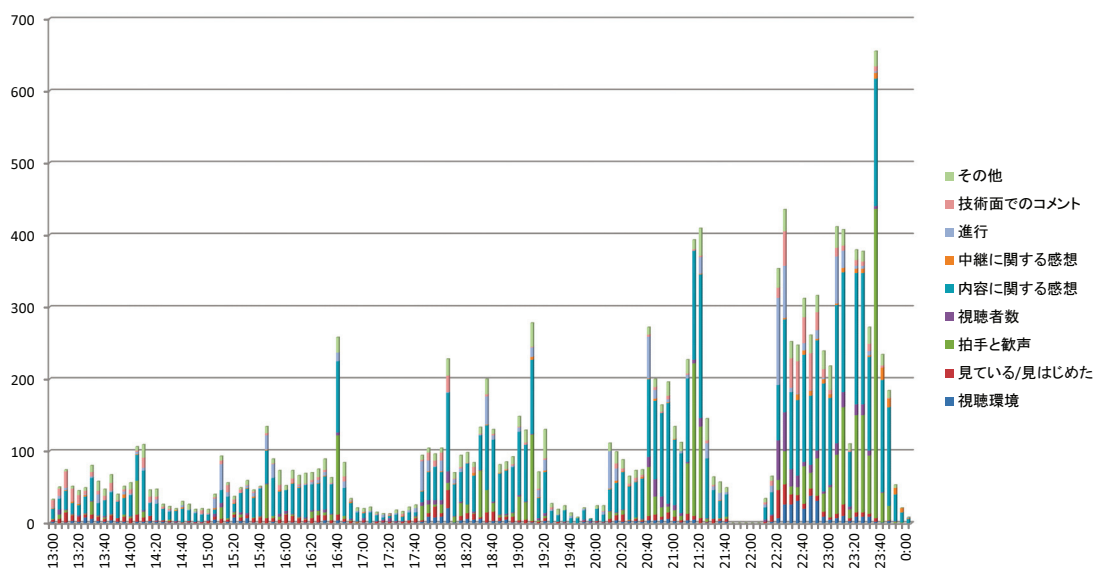


図 4.6: 演奏会中の 5 分ごとのツイート数とその内容

参加者のセマンティクスグループ

本実証実験におけるリエゾンスペースで用いたメディアエレメントである Twitter ハッシュタグ上ではイベント参加者全体セマンティクスグループ以外にも多数の参加者セマンティクスグループを確認できる。図 4.7 にリエゾンスペースにおける参加者セマンティクスグループの一部を示す。

図 4.7 では、「清掃」、「テレビ」、「実家」、「お風呂」というセマンティクスグループに属するツイートの一例を示した。年末から大晦日にかけて大掃除をおこなったり、実家への帰省、大晦日の定番テレビ番組を見る日本人は多い。本実証実験においても掃除をしながらの参加や掃除を中断した参加者、紅白歌合戦と本イベントを行き来する参加者、実家への帰省準備をしながらの参加等、慌ただしい大晦日の生活をこなしながら本イベントに参加する参加者セマンティクスグループが観測できた。また休憩時間を利用したお風呂宣言等もローカルスペースでの参加では不可能な行動である。他にもおせち料理や育児等様々な日常生活をしながら本実証実験に参加する多様なセマンティクスグループが観測された。



図 4.7: リエゾンスペースにおける参加者セマンティクスグループ (クラシックコンサート)

オペレーションメタスペースとの関係

リエゾンスペースのメディアエレメントとして、Twitter ハッシュタグ上の参加者間コミュニケーションの監視と情報提供をおこなった。

オペレータはリエゾンスペース上での参加者間の会話を監視するだけでなく質問やトラブルへの対応もおこなった。利用している技術や音量の大小等参加者からの報告や独り言的な悩みを収集し、調整をおこなったり参加者へ情報提供をおこなったりした。具体例を図 B.10 と図 B.11 にリエゾンスペースにおいて参加者がオペレータへ質問するツイート例や参加者からのトラブル報告を示す。

4.5.4 オペレーションメタスペース

複数実空間に分散するオペレータが、IRC を中心としたコミュニケーションツールを用いて情報を共有し仮想的なコントローラとなってオペレーションをおこなえた。実空間のオペレータが、自律的に判断してオペレーションするモデルと比較し、トラブル発生時のトラブル検知が早い点や、複数オペレータの知識を集約し経験の浅いオペレータを補助できる点にメリットがあった。

4.5.5 オートノマススペース

オートノマススペースにおけるコミュニケーションは、参加者間で自律的におこなわれた。一部リエゾンスペースに露見したように様々なメディアエレメントを用いて知人や友人へのイベントの紹介や内容に関する議論がおこなわれた。

Twitter 上ではリエゾンスペースで共有された情報以外に、ツイートを非公開に設定しフォロワーだけとコミュニケーションを取る参加者やハッシュタグを付けずにツイートする参加者のコミュニケーションがオートノマススペースのメディアエレメントであるが非公開のツイートはオペレータやコントローラからは把握できなかった。

2ちゃんねるの実況スレッドや mixi 等の他のメディアを用いた実時間イベント中のコミュニケーションの一部はイベント後に明らかとなった。図 B.12 に 2ちゃんねるの実況スレッドをまとめた Web ページを示す。オートノマススペースで参加者により定義された様々なメディアエレメントとプライマリスペースやリエゾンスペースのメディアエレメントを同時に用いた新たなメディア上での参加者間の時間共有がなされ、実時間イベントへの新たな参加方法となっていた。

また、非同期でのオートノマススペースでのコミュニケーションとして数多くの blog においてプライマリスペースでの参加 [26]、ローカルスペースでの参加 [27][28] について記事が掲載され、blog 読者とのやりとりが発生した。

4.6 まとめ

本実証実験では、ローカルスペースのローカルコミュニケーションによって進行する実時間イベントをサイバー空間に拡張した。この実時間イベントにプライマリスペースから参加した際、メディアエレメントの品質が低く満足できなかったり、利用するメディアエレメントによっては、時間を共有する他の参加者とコミュニケーションできないというサイバー空間での参加時におけるコミュニケーション品質に取り組んだ。

芸術・文化コンテンツのサイバー空間での視聴は、画質や音質が生での体験に劣るとの課題に対し技術と演奏両方の専門知識を持ったオペレータによるコンテンツデータ生成、休憩時間も休まず会場の様子を共有する映像配信、参加者環境に合わせ複数のメディアエレメントの中から参加者が適切な物を選択できるプライマリスペースにより、サイバー空間における高品質な参加が実現した。技術面では、HD 解像度の 3D 映像、5.1ch サラウンドや 24bit 96kHz のハイサンプリングレート音声など一般的なテレビ放送を超える品質を実現した。こうしたプライマリスペースでの参加はローカルスペースでの参加と同一ではないが満足してイベントに参加できる品質であり参加者の満足度も高かった。

リエゾンスペースの Twitter ハッシュタグを用いた遠隔参加者間コミュニケーションは、演奏会の開始から時間を追う毎に活発となり終盤の第九演奏から終了直後にピークを迎えた。演奏会場の演奏者や観客はローカルスペースのみの参加であったが、片方向のメディアエレメントで参加したプライマリスペースの参加者はリエゾンスペース上で多くの発言や拍手、歓声を共有した。ローカルスペースでの参加時はノイズを発生させる私語や途中入場はできないが、プライマリスペースやリエゾンスペースとオートノマススペースでの参加では、途中参加や演奏中の議論等が可能なこれまでとは異なる新しい参加形態だった。

オペレーションメタスペースでは複数実空間に分散するオペレータが情報共有をしながら一体となってオペレーションをおこない上記のローカルスペース、プライマリスペース、リエゾンスペースにおけるメディアエレメントでの情報共有を実現した。

指揮者や演奏者、またコンテンツ制作をおこなった企業との権利の関係で、イベント終了後には、アーカイブ等を通しての演奏を試聴できない。しかし、リエゾンスペースのコミュニケーションは、ハッシュタグのキーワード検索により可能である。また、オートノマススペースでは、blog 等を通じた参加者間でのコメント共有や発言の振り返りが可能である。2011年2月に本演奏会がテレビ放送された際にはオートノマススペース上で若干のコミュニケーションが発生した。

本実証実験により、サイバー空間において従来よりも高品質なコンテンツと参加者間コミュニケーションによる実時間イベント参加が実現した。

次章では、学校行事への遠隔参加として、東日本大震災時の慶應義塾大学卒業式代替イベントへの遠隔参加を事例に分析を進める。

第5章 実証実験：学校行事への遠隔参加

5.1 本章の位置付け

本章では東日本大震災とその後の津波被害の影響により注視された2010年度慶應義塾大学学部卒業式と大学院学位授与式の代替として実施した4つの実時間イベントについて述べる。これらのイベントは本来ローカルコミュニケーションのみで実施されるものであった。本研究でもこれらのイベントをサイバー空間への拡張をおこなった。

5.2 実証実験の背景

5.2.1 東日本大震災と学校行事

2011年3月11日に発生した東日本大震災とその後の津波被害は、東北地方の被災地だけでなく関東地方にも大きな影響を与えた。震災当日の交通機関の乱れによる帰宅難民の発生と、その後の電力不足により計画停電や節電要請がおこなわれ、経済活動への影響も多数発生した。

首都圏の大学においても、関係者の安否確認やキャンパス内の被害確認など対応に追われた。また3月という時期のため多くの大学において卒業式の中止や規模縮小など学校行事へも影響が発生した。表5.1に、首都圏の主な大学における卒業式への対応例を示す。

各大学共に余震、電力事情、原発問題などの諸般の理由で2011年3月に予定されていた大学公式の卒業式を中止した。

卒業式を中止した各大学は、それぞれ代替のイベントやメッセージを公開している。東京大学や立教大学では規模を縮小した式典や卒業式に代わる卒業生を送るイベントをUstreamにより動画配信した。これらの動画配信ではチャットやソーシャルストリームによるSNSとの連携は利用されなかった。早稲田大学では大学Webページ上で総長によるメッセージビデオを公開した。また一部卒業生は、3月25日に「早稲田大学戸山キャンパス有志 卒業の会」という自主イベントをおこない学生代表の挨拶やビデオ上映をおこなった。法政大学ではインターネット配信や録画ビデオの公開は行わなかった。しかし翌年の卒業式に2010年度卒業生も参加できることとし、1年遅れの卒業式を提供した。2010年度に初の卒業生を送り出したサイバー大学も大学公式の卒業式を中止した。しかし、Twitter上で「サイバー大学エア卒業式」が一部の卒業生により開催され卒業生同士の交流や卒業生へのメッセージが集まった。

慶應義塾大学では、本研究以外にも有志の呼びかけでTwitterハッシュタグ(#keio_sotsugyo2011)が独自に作成され、卒業生への祝福のメッセージが集められた。

以上のように2011年3月には大学公式や非公式など様々な形で、イベントが実施された。これらは、大学として式典を実施する他に、卒業生同士で時間を共有する場を作ることに貢献した。

表 5.1: 東日本大震災における首都圏大学の卒業式対応例

大学名	対応
東京大学	中止 小規模卒業式インターネット動画配信
早稲田大学	中止 総長録画ビデオの動画配信 一部学生による自主イベント
法政大学	中止 2012年3月に翌年度の卒業生と合同開催
立教大学	中止 「立教大学卒業生・修了生を送る式」をインターネット動画配信
サイバー大学	中止 一部学生による Twitter 上での卒業式

5.2.2 目的

慶應義塾大学では、東日本大震災後の社会情勢の中卒業式をやむを得ず中止とした。しかし塾長から卒業生へのメッセージを仲間と共有し学生生活を締めくくる卒業式は卒業生やその保護者にとって最重要行事である。卒業式中止の決定と同時に、インターネット配信など他の方法での実施が検討された。最終的に清家篤塾長の決断により、インターネット配信による卒業式の実施を決定した。長い歴史を持つ卒業式は不変的なものであり、卒業生が他の卒業年度の卒業生と同様の体験を得られなければ卒業式とは言い難い。そのため、壇上における祝辞、学位記授与、優秀学生の表彰、来賓からの挨拶など例年通りの内容でおこなうことを基本方針とした。

本実証実験では、こうした特殊な状況での卒業式の実現を目的とし、インターネットの動画配信とソーシャルメディアの融合により実現する。卒業式における参加者間の情報共有、オペレーションなどを CPARSE により設計実装する。

5.2.3 実時間イベント実施における課題

東日本大震災時における卒業式では、参加者の安全確保、公共交通機関の運行、計画停電の3つが実施における課題となった。

2011年3月11日の震災以降、東日本の広い地域で数多くの余震が観測された。気象庁の発表では2012年3月までの1年間に7,225回の余震が観測されこのうち震度4以上の揺れ109回を含む2,321回は2011年3月に発生した[29]。2010年度の卒業式はこのような大きな余震のリスクが存在する時期に計画されていた。

東京都と神奈川県に所在する慶應義塾大学の各キャンパスでは地震による建物への軽微な破損はあったが、負傷者など人的被害は無かった。しかし東京都千代田区では、地震発生時に専門学校の卒業式がおこなわれており天井の崩落による死傷者が発生した。会場となった商用会館ではその後、管理責任が問われ建物の所有者が遺族に告訴されている[30]。学校行事では、施設管理者である大学に参加者の安全確保の責任と災害発生時のリスクが存在する。

多くの参加者が集まる学校行事では公共交通機関は欠かせない。震災当日の交通機関の混乱で首都圏では多くの帰宅困難者が発生した。大規模な学校行事中に災害が発生した場合、参加者が

5.3. 設計

帰宅できなくなる可能性が高い。また、余震だけでなく電力不足も公共交通機関に大きな影響を与えた。震災後、運行に必用な電力が確保できず首都圏の鉄道網では運休や間引き運転がなされた。また計画停電時には運休される可能性もあり電力供給の安定しない災害下における学校行事には参加者の輸送手段リスクがある。

多くの参加者を集める学校行事におけるリスクは災害による直接的な被害だけではない。東日本大震災では余震だけでなく、電力不足も大きな問題となった。地震とその後の津波被害により多くの発電所が停止し、その影響により大規模停電を防ぐための計画停電の実施と企業や家庭に対する節電要請が出された。慶應義塾大学でも湘南藤沢、日吉、矢上キャンパスは計画停電実施区域内に位置し、IT 機器や実験機器などが停止した。また消費電力削減のため、通電時でも照明、空調など電力を必用とする大学内のあらゆる設備の利用に制限が課せられた。その結果キャンパスへの立ち入り制限など大学機能が一部停止した。こうした状況下での学校行事の通常通りの実施は困難である。

5.2.4 アプローチ

本実証実験では、東日本大震災後の課題を解決し安全かつ有効な学校行事をおこなう環境を CPARSE により設計実装する。本実証実験では、ローカルスペースの会場での参加を最小限とし多数の参加者が集合するリスクを回避しつつ、ローカルスペースでの参加で得られる参加感や他の参加者との一体感をサイバー空間上で実現できる実時間イベントを実現する必要がある。具体的には、クラシックコンサートの演奏会参加と同様に高品質なコンテンツデータをプライマリスペースで共有し、リエゾンスペースにおける参加者間コミュニケーション環境を構築する。

5.3 設計

5.3.1 設計方針

本実証実験では CPARSE による実時間イベントの設計方針を以下の様に定めた。

- 代表者のみの式典会場におけるこれまで通りの内容での式典実施
- 安全が確保された場所からの多様な参加手段を用いた参加
- 参加者の参加形態に合わせた高品質なメディアエレメントの提供
- 参加者間での一体感やイベントへの参加感の確保

余震発生時の安全確保がなされた式典会場では、参加者が代表者に限定される以外は通常と同様の内容で式典を実施し式典会場内では私語等ノイズとなるコミュニケーションは行わない。SFC 卒業式(学部)、SFC 卒業式(大学院)は既存の式典がないためローカルスペースでのコミュニケーション内容を規定しない。式典会場外からの参加者は、デスクトップ環境からモバイル環境まで様々な環境で参加でき、高品質なメディアエレメントを用いることとする。リエゾンスペースでは、参加者間で双方向のコミュニケーションをおこない、イベント参加者全体で一体感やイベントへの参加感が生まれることを目指す。

本実証実験における実時間イベント環境を図 5.1 に示す。

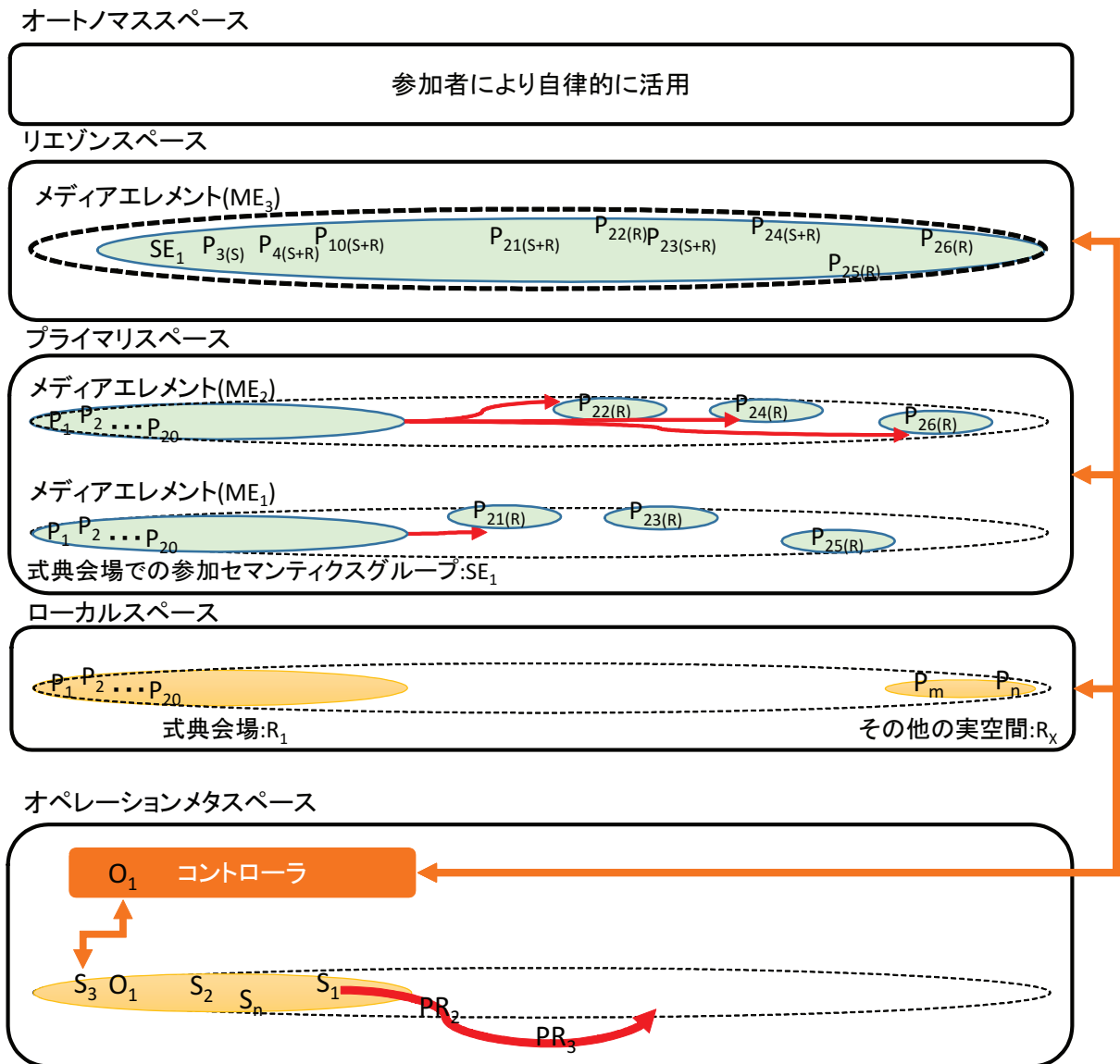


図 5.1: 学校行事遠隔参加実証実験全体図

5.3.2 イベント概要

本実証実験では、中止となった学部卒業式と大学院学位授与式を表 5.2 に示す 4 つの実時間イベントに再編した。

慶應義塾大学では例年、全学部の学部卒業者を対象とする「慶應義塾大学学部卒業式」と、大学院における学位取得者を対象とする「慶應義塾大学大学院学位授与式」を実施する。また式典終了後に学部別、研究科別に学部長・研究科委員長からのメッセージや学位記授与をおこなう会が開かれる。中止となったこれらの代替として、全学部の卒業者を対象とした「平成 22 年度慶應義塾大学学部学位記授与式」と大学院全研究科の学位取得者を対象とした「平成 22 年度慶應義塾大学大学院学位記授与式」の 2 つを実施した。また学部別、研究科別の会の代替として、湘南藤

5.3. 設計

表 5.2: 卒業式の代替イベント一覧

日時	イベント名	対象
3月23日	平成22年度慶應義塾大学学部学位記授与式	全学部
3月23日	SFC卒業式(学部)	SFC卒業生
3月29日	平成22年度慶應義塾大学大学院学位記授与式	全研究科
3月29日	SFC卒業式(大学院)	SFC修了者

表 5.3: 式次第

学部学位記授与式	大学院学位記授与式
開式	開式
学事報告	学事報告
学位記授与	学位記授与
表彰状授与	式辞
式辞	教職員代表祝辞
塾員代表祝辞	塾歌斉唱
在校生代表送辞	閉式
卒業生代表答辞	
塾歌斉唱	
三田会結成式	

沢キャンパス(SFC)の学部卒業生、大学院修了者を対象としたSFC卒業式(学部)とSFC卒業式(大学院)を実施した。

表 5.3 に学部学位記授与式と大学院学位記授与式の式次第を示す。長い歴史を持つ式典の内容は不変的な物であり、卒業生が他の卒業年度の卒業生と同様の体験をする事が望ましい。学部と大学院の全体行事であるこれらの式典では、例年と同じ内容とする。

5.3.3 参加者の参加形態

本実証実験では以下の参加形態を想定する。

(A) 式典会場

式典会場から参加する参加形態とし、塾長、学部長等の登壇者、学位記を授与される各学部の代表者や各種表彰者が含まれる。学部学位記授与式と大学院学位記授与式の2つのイベントの式典中は、リエゾンスペースやオートノマススペースでのコミュニケーションには参加できない。SFC卒業式(学部)とSFC卒業式(大学院)では式典会場から参加する参加者もリエゾンスペースやオートノマススペースにおけるコミュニケーションに参加できる。

ローカル：○

プライマリ：×

リエゾン：△(式典中は不可)

オートノマス：△(式典中は不可)

(B) 個人参加

個人参加者は、式典会場以外から参加する参加者のうち、ローカルスペースでのコミュニケーションに参加しない参加形態と定義する。プライマリスペースのメディアエレメントで式典に参加しつつ、参加者の判断によりリエゾンスペースやオートノマススペースにも参加できる。

- ローカル：×
- プライマリ：○
- リエゾン：○
- オートノマス：○

(D) 個人参加（複数）

同一実空間に複数の (C) 個人参加者が集合した参加形態。 (C) と同様の環境であるが同一実空間に複数人が存在することにより、ローカルスペースでのローカルコミュニケーションが発生する。

- ローカル：○
- プライマリ：○
- リエゾン：○
- オートノマス：○

5.3.4 ローカルスペースの設計

本来の卒業式は、会場内で卒業生、教職員、と保護者等の参加者が時間と場所を共有したローカルコミュニケーションによって実現するイベントである。従ってローカルスペースで実空間の会場から参加することが望ましい。本実証実験では、(1) 余震による安全性のリスク、(2) 公共交通機関の混乱、(3) 節電や計画停電の可能性を踏まえ、ローカルスペースの会場に卒業生や保護者等の参加者が実空間の会場に集合することを断念した。本実証実験では、 R_1 をテレビ放送スタジオのような、プライマリスペースにおける他の参加者への共有を目的としたローカルコミュニケーションをおこなう空間とする。会場からの参加者を塾長や学部長等の例年の登壇者 P_1 から P_{20} までの 20 名程度と表彰者や学位記を授与される各学部の代表者 P_{21} から P_{40} の 20 人程度の合計 40 名前後とする。一般の卒業生や保護者等はプライマリスペースで参加することとした。卒業生と保護者もしくは複数卒業生等が自宅で集合して参加する場合、ローカルコミュニケーションが発生する。こうした地点を図中では R_x とし、 P_m や P_n 等の参加者が集合する実空間として表記する。また、式典会場 R_1 選定の要件を以下に定めた。

- 余震発生時に会場参加者の安全が確保できること
- 計画停電区域外に位置すること
- ブロードバンドインターネット接続を持つこと
- 想定される参加者の代表者を収容できること

5.3.5 プライマリスペースの設計

メディアエレメント

プライマリスペースでは、ローカルスペースにおける参加者が、ローカルコミュニケーションでおこなう式典を、複数のメディアエレメントを用いてプライマリスペースにおける参加者と共有する。

本実証実験では、複数の片方向映像、音声メディアエレメントを用いて代表者のみが集合する式典会場のセマンティクスグループ (SE_1 に属する参加者 P_1 から P_{40}) のローカルコミュニケーションを遠隔参加する卒業生、保護者、教職員や在校生等の参加者へ共有する。一般に卒業式では壇上の登壇者以外は発言する機会がない片方向のイベントである。また、式典中の参加者は私語も控え会話等のない静粛な空間である。従って放送的な片方向のメディアエレメントを用いても式典の進行には影響がない。プライマリスペースで用いるメディアエレメントは、別途定める参加予定者数程度の同時利用に耐えられることとする。

本実証実験のプライマリスペースでは、式典の様子を映像や音声によって共有する。プライマリスペースでのコミュニケーション品質は解像度や音質等のフォーマットだけではなくカメラワークやスイッチング等のオペレーションに依存する。本実証実験でも、クラシックコンサートにおける事例と同様に式典の進行や見せ場を理解したオペレータによる撮影や集音をおこなった。また、卒業式でありながら卒業生が会場から参加できない特殊性を表現するため、空席を多く撮影した映像で特殊な状況下であったことを表現する。

(B) 個人参加, (C) 個人参加 (複数) のプライマリスペースへの参加

本実証実験では、(B) 個人参加, (C) 個人参加 (複数) の参加形態で参加する参加者数を、合計1万人程度と定める。図 5.1 中の参加者は、最大で P_{10000} となる。

5.3.6 リエゾンスペースの設計

卒業式への参加は、式典会場で代表者への学位記授与や式辞といった壇上でのやりとりを鑑賞するだけが目的ではない。式典前後に仲間や恩師との会話や挨拶、晴れ着での記念写真撮影等一日を通した体験である。しかし、式典前後に発生するこうした参加者間コミュニケーションは、片方向のメディアエレメントを用いたプライマリスペースでは不可能である。本実証実験では、リエゾンスペースに参加者間コミュニケーションができる場を提供する。

本実証実験では、学部と大学院の学位記授与式ではリエゾンスペースのメディアエレメントはクラシックコンサートと同様に、実空間 R_1 の参加者へはフィードバックしないこととした。SFC 卒業式 (学部) と SFC 卒業式 (大学院) では、プライマリスペースで投げかけた質問にリエゾンスペースのメディアエレメントを用いて返答する等、式典会場との双方向コミュニケーションを実現した。但し、どちらの場合でもプライマリスペースのメディアエレメントと直接干渉しないこととし、音声ではなく文字によるコミュニケーションとした。

また、イベント開始前やイベント終了後にも参加者がコメントや感想、また卒業生へのお祝いのメッセージを共有できるようにリエゾンスペースはイベント前後も利用できることとする。

5.3.7 オペレーションメタスペースの設計

本実証実験でも CPARSE に基づいたオペレーションメタスペースを設計する。オペレーションメタスペースではプライマリスペース、リエゾンスペースにおけるメディアエレメントのオペレーションに必要な実空間とサイバー空間のデバイスとサービスを監視制御する。

本実証実験では、震災直後の情勢下で最少人数でのオペレーションをする必要があり、また節電要請や計画停電への対応も必要であった。本実証実験では、実空間の会場は式典会場のみである。しかし、会場に集合するオペレータも最小人数とするため、一部のオペレータは自宅等の安全が確保された地点からオペレーションに参加する事とした。前述のクラシックコンサート事例同様に、コントローラ内部のオペレータ間でのコミュニケーション手段はローカルコミュニケーションだけでは実現しない。従って、コントローラは複数実空間に分散するオペレータで構成されており、その情報共有には双方向の文字を用いたメディアエレメントを用いる。このメディアエレメントはオペレーションスペース内に存在し、拠点間でのオペレーション関連情報を伝達する。また、映像音声を扱うオペレータの業務に干渉しないため、フォーマットには文字を用いることとした。メディアエレメントでの情報伝達時には、各オペレータからの pull ではなく、メディアエレメントから情報を push することにより高い即時性を持つこととした。拠点内でのオペレータのコミュニケーションには、ローカルコミュニケーションを用いると共に、拠点間での連絡に用いたメディアエレメントが利用できることとする。

節電や計画停電への対応として、式典会場を計画停電エリア外とした。また式典会場内で利用する機器を最小限とし動画配信サーバや Web サーバ等のリソースは極力外部サービスを活用する方針を定めた。

5.3.8 オートノマススペースの設計

オートノマススペースは CPARSE の定義通り、参加者により自律的に利用されることとする。但し、従来の卒業式と同様の進行をおこなう学部学位記授与式、大学院学位記授与式の式典会場では、スマートフォンや PC 等を会場内で利用できないため、オートノマススペースのコミュニケーションに参加できないこととする。

5.4 実装

5.4.1 ローカルスペースの実装

本実証実験におけるローカルスペースは、式典会場のみである。式典会場を慶応大学三田キャンパス北館ホールに定めた。表 5.4 に式典会場の概要を示す。定員は北館ホールの物理的な客席数ではなく安全を考慮し必要最低限とした。また式典会場は、計画停電エリア外であり式典当日に輪番停電となる可能性がないことを確認した。

表 5.4: 式典会場概要

会場名	慶応大学三田キャンパス北館ホール
所在地	東京都港区三田 2-15-45
定員	必要最低限

5.4.2 プライマリスペースの実装

以下に本実証実験のプライマリスペースで用いるメディアエレメントを示す。全てのメディアエレメントは、設計で定めた最大1万人程度による同時参加に耐えるUstreamを用い、片方向の映像+音声もしくは音声を参加者と共有する。

(1)Ustream HD

方向：片方向
映像：解像度 1280 × 720, 30fps, 2D
音声：16bit 48khz, 2ch

(2)Ustream SD

方向：片方向
映像：解像度 640 × 360, 30fps, 2D
音声：16bit 44.1khz, 2ch

(3)Audio

方向：片方向
映像：なし
音声：16bit 44.1khz, 2ch

本実証実験では上記の3種類のメディアエレメントを図5.2に示すように参加形態(B)の個人参加、参加形態(C)の個人参加(複数)のそれぞれの参加者がプライマリスペースでイベントに参加するために用いる。(1)Ustream HDは、約2Mbps、(2)Ustream SDは、約500kbps、(3)Audioは、約100kbpsに設定し参加者環境に応じて適切なメディアエレメントが選択可能とした。図中のクラシックコンサートで用いたメディアエレメントと比較して低めの要求スペックを設定した。これは演奏会と比較し高い品質が要求されないこと、震災直後の状況下において必要最低限のリソースでイベントに参加できることが重要視されたためである。

本実証実験の参加者は、これらのメディアエレメントに図5.3に示すユーザインターフェースを用いてアクセスした。ユーザインターフェースは、Web上に構築され、そのURLは卒業生など関係者に周知するとともに、リエゾンスペースでイベント開始前に告知をおこなった。

本実装ではユーザインターフェースとなるWebページをWIDE Cloud上に仮想化サーバとして構築した。WIDE Cloudは地理的に分散した複数拠点で分散運用されており停電等の影響を受けにくい。震災時にも文部科学省による放射線モニタリング情報や、計画停電情報を発信し、国内外からの大量のアクセスに耐えた実績を持つ[31]。本実装では、北陸・関西・関東(計画停電エリア外)のWIDE Cloud拠点に仮想化サーバを設置し、それらをDNSラウンドロビンにより負荷分散した。この仕組みは、前述の文部科学省による放射線モニタリング情報公開と同じ手法であり、本実証実験に必要な十分な能力を持つ。

本実証実験では、プライマリスペースにおける参加者の参加者環境と利用デバイスとして以下を想定した。本実装で用いたUstreamは、WindowsやMac OS等のデスクトップ環境だけでなくAndroidやiOS等スマートフォンやタブレット端末にも対応することを確認した。

- (1)Ustream HD：一般的な家庭やオフィスのブロードバンド接続とPC

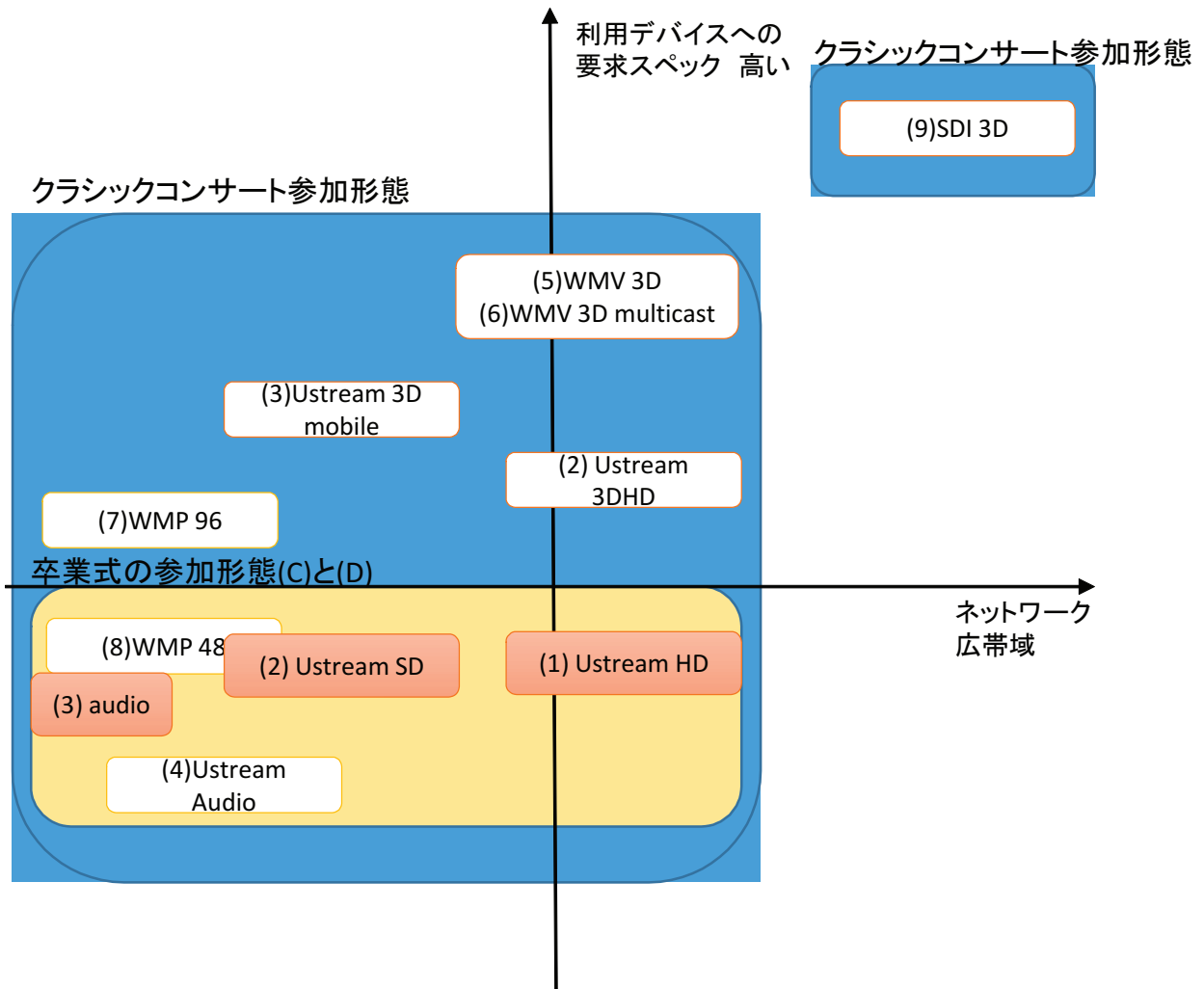


図 5.2: プライマリスペースにおけるメディアエレメントの実装

- (2)Ustream SD：モバイル環境を含む低帯域環境の PC またはタブレット端末
- (3)Audio：モバイル環境におけるスマートフォン等

クラシックコンサートの事例においても音声のみのメディアエレメントを提供したが、本実証実験では、低帯域な環境や被災地や計画停電地域等、無線や携帯電話網しか利用できない参加者を想定し品質を下げた映像音声や音声のみによるメディアエレメントを実装した。

SFC 卒業式は参加者間のコミュニケーションを重視し、式典会場から参加しない (B) 個人参加や (C) 個人参加 (複数) の参加形態の参加者からの発言やフィードバックも必要である。しかし、数百人の卒業生を同時に双方向の映像音声で接続できるメディアエレメント (ビデオ会議システムや Web 会議システム) は大学内に利用できるリソースが無かった。また、数百人が参加する大規模な双方向映像音声メディアエレメントでは、個々の参加者を認識し、ローカルスペース同様のコミュニケーションを具現化することは困難である。SFC 卒業式 (学部, 大学院) では、(1) から (3) のメディアエレメント用いて式典会場のからの発言をおこない、そのフィードバックはリエゾンスペースのメディアエレメントを用いる非対称なコミュニケーション形態を取った。

5.4. 実装

プライマリメディアで共有されるコンテンツデータの制作を担当するオペレータは、慶應義塾大学 DMC 研究センターの専門員とした。客席中央に 2 台、舞台袖に 1 台の計 3 台のカメラを専門員が担当し映像を収録した。音声も同様に、会場内のワイヤレスマイクやフロア音声を集音するワイヤレスマイクを専門員が調整し、プライマリメディア用のコンテンツの制作をおこなった。この時、会場内では塾長や学部長など登壇者の他に、卒業生代表が参加した。震災後の特殊な状況下における遠隔参加卒業式であることを遠隔参加者が感じやすいよう会場全体を見渡す映像には空の客席だけが映るように調整した。また、SFC 卒業式(大学院)では、図 C.1 に示すように、加藤賞の遠隔授与をおこない、skype ビデオ通話で接続された受賞者へ式典会場から遠隔で賞状を授与し、それを披露する一連の流れをプライマリスペース上で実現すると共に、その様子を全参加者で共有した。



図 5.3: 学校行事への遠隔参加におけるユーザインターフェースの実装

5.4.3 リエゾンスペースの実装

リエゾンスペースでは、メディアエレメントとして Twitter のハッシュタグ「#keio-live」を定義して参加者に告知した。参加者は図 5.3 に示す Web ページを通して、もしくは Twitter クライアントやプライマリスペースで用いる Ustream のソーシャルストリーム機能を用いてリエゾンスペースのコミュニケーションに参加する。

事後の分析やアーカイブのため、クラシックコンサート同様に「ハッシュタグクラウド」を用いて設定したハッシュタグでのツイートを CSV 形式で保存した。

5.4.4 オペレーションメタスペースの実装

オペレータとコントローラ

本実証実験では、ローカルスペースの会場は、式典会場となる慶応大学三田キャンパス北館ホールだけである。しかし、参加者の安全確保のため必要最小限のオペレータだけが式典会場でオペ

レーションをおこない、プライマリスペースやリエゾンスペースの監視は自宅等からオペレータが担当した。本実証実験においても、コントローラ内でのオペレータの情報共有や指示伝達には IRC, インカム, そして Skype を用いた。

コンサートの事例と同様に式典会場のカメラマンへの指示伝達には IRC の文字によるコミュニケーションが適さないためインカムを用いた音声によって実現した。また、舞台袖のバックヤード内の複数のオペレータはローカルコミュニケーションを用いて意思疎通をし、遠隔オペレータや Ustream 内のオペレータとの意思疎通には、IRC や Skype を用いて双方向の文字によるコミュニケーションによって実現した。

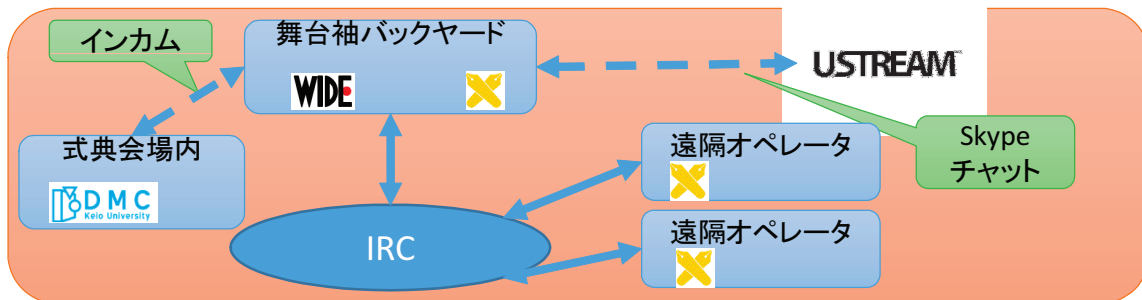


図 5.4: 学校行事への遠隔参加におけるコントローラ実装例

5.5 評価

5.5.1 ローカルスペース

本実証実験におけるローカルスペースである式典会場の参加者は代表者のみであり、参加者数の大小はイベントの成功とは無関係である。本実証実験では、震災直後の混乱期に例年の卒業式をサイバー空間上で実現することを目的とした。式典会場内では少数の代表者により式典が滞りなく進行され、その模様をプライマリスペースやリエゾンスペース上で共有できた。従って、本実証実験におけるローカルスペースはその目的を達したと言える。

5.5.2 プライマリスペースとリエゾンスペースの参加者数

本実証実験では、ローカルスペースに集合したごく少数の代表者によるローカルコミュニケーションを、サイバー空間上のプライマリスペースで映像や音声メディアエレメントを用いて共有した。また参加者間のコミュニケーション手段としてリエゾンスペースを設け Twitter ハッシュタグにより式典参加セマンティクスグループによりグルーピングを実現した。

表 5.5 に本実証実験における各イベント毎の参加者数を示す。ユニーク視聴者数とのべ視聴者数は、プライマリスペースにおける参加者を示し、発言者数はリエゾンスペースでの参加者数を示す。またそれぞれの実時間イベントにおけるリエゾンスペースでの発言数としてハッシュタグ付きツイートの数を示す。

学部学位授与式ではのべ 28,531 アクセス、18,397 のユニークアクセスを Ustream 上で記録した。卒業生数は約 6,000 人、保護者や招待者を含めた例年の出席者がおよそ 1 万人であり、この

5.5. 評価

表 5.5: 各実時間イベント毎の参加者数

イベント名	ユニーク視聴者数	のべ視聴者数	ツイート数	発言者数
学部学位記授与式	18,397	28,531	725	307
SFC 学部卒業式	6,933	10,356	656	221
大学院学位記授与式	5,182	7,871	67	36
SFC 大学院卒業式	1,990	2,519	127	45

アクセス数は例年の出席者数を超えている。他のイベントでも、本来対象とする関係者数よりも多い参加者を記録した。以上により本実証実験で構築した環境は、規模の面で要求を満たしたといえる。また想定以上の参加者の存在は、主催者である大学にとっても高評価であった。

視聴者の属性など個人を特定する情報は参加時に登録や認証を行わなかったため収集されていない。しかし参加者間で共有されたメッセージから、卒業生やその保護者以外に、1) 在校生、2) OB、3) 他大学関係者、4) 大学に興味を持った高校生、などが確認でき、多様なセマンティクスグループの参加者がいたことが推測される。

本実装では複数品質で動画配信をおこなったが、視聴者のほとんどは高品質チャンネルを利用していた。モバイル向けや、音声のみでの参加はごく少数であり、時間帯によっては利用者が0となったチャンネルもあった。当初計画時には、被災地や計画停電地域などからスマートフォンなどを利用した参加を考慮したが、被災地や計画停電地域からの参加を示すツイートは観測されておらず、実際の参加があったか不明である。しかし移動中や仕事の空き時間に部分的な参加を表明するツイートもあり、一定の役割は果たせた。またリアルタイム参加だけでなくアーカイブへの多くのアクセスが記録されている。当日参加できなかった卒業生が、後日非同期で参加したことが推測できる。

プライマリスペースとリエゾンスペースにおける参加者数は、本来の卒業式参加者数を超えた。従って、本実証実験の目的である中止となった卒業式参加を安全かつ公共交通機関の混乱に影響されずに実現したと言える。

5.5.3 リエゾンスペース

リエゾンスペースのメディアエレメントとして用いた Twitter ハッシュタグには、卒業生にあてた祝福のメッセージ、卒業生の卒業式への思いや友人との会話、運営スタッフによるアナウンス等が共有され、参加者間のコミュニケーション機能を果たした。

リエゾンスペースで何らかの発言をした参加者数は、プライマリスペースの視聴者数と比較し少ない。しかし、発言者以外も共有されるメッセージを読んでおり Receive のみでリエゾンスペースに参加した参加者は多い。SFC 卒業式(学部)に関するアナウンスは3月23日の学部学位記授与式中におこなわれ、告知方法はリエゾンスペースでの Twitter を用いたメッセージ共有だけであった。しかし、多くの参加者がリエゾンスペースのメッセージに目を通していたことは、SFC 卒業式に SFC の卒業生よりも多い多数の参加者が参加したことから推測できる。

また、参加者間のコミュニケーションを重視した結果、学部学位記授与式における1分あたり5ツイートと比較し、SFC 卒業式(学部)では1分あたり10ツイートを記録し、参加者間でのコミュニケーションがより多く発生していた。参加者間で共有されたメッセージは、式典開始前の期待、卒業生へのお祝い、卒業にあたっての感想、配信動画の解説や感想、配信終了後の感謝のメッセージなどが共有された。また表示される同時視聴者数を Twitter へ速報し、イベントの盛

り上がりを指摘するメッセージも多数確認できた。同時視聴者数の表示は片方向動画配信時に時間を共有する他者の存在を意識でき、参加感の向上に寄与した。

また、参加者による視聴中の様子を撮影した写真も共有され、他の参加者の存在感の共有に役だった。図5.5はイベント中に参加者間で共有された写真である。パブリックビューイング会場に集まった晴れ着の参加者の様子(写真右)や、PCに表示される視聴中の動画(写真左)などが参加者間で共有された。



図 5.5: 参加者間で共有された写真例

5.5.4 多様な参加者セマンティックスグループ

図5.6に、リエゾンスペースのメディアエレメントとして用いたTwitterハッシュタグ内の参加者セマンティックスグループの一例を示す。ハッシュタグによるグルーピングをイベントへの参加セマンティックスグループと定義できる。次に参加者の属性により「教員」、「卒業生」、「OB」、「その他」に分類できる。また、式典会場から参加した一部の教員も「式典会場参加」としてグルーピングできる。

本来の参加者である卒業生や教員だけでなく、OBや他大学学生、在校生が参加していた事実が明らかとなる。また、様々なセマンティックスグループの参加者から卒業生への祝福やお祝いメッセージが収集され、ローカルスペースにおける卒業式では起こりえないコミュニケーションが発生していた。

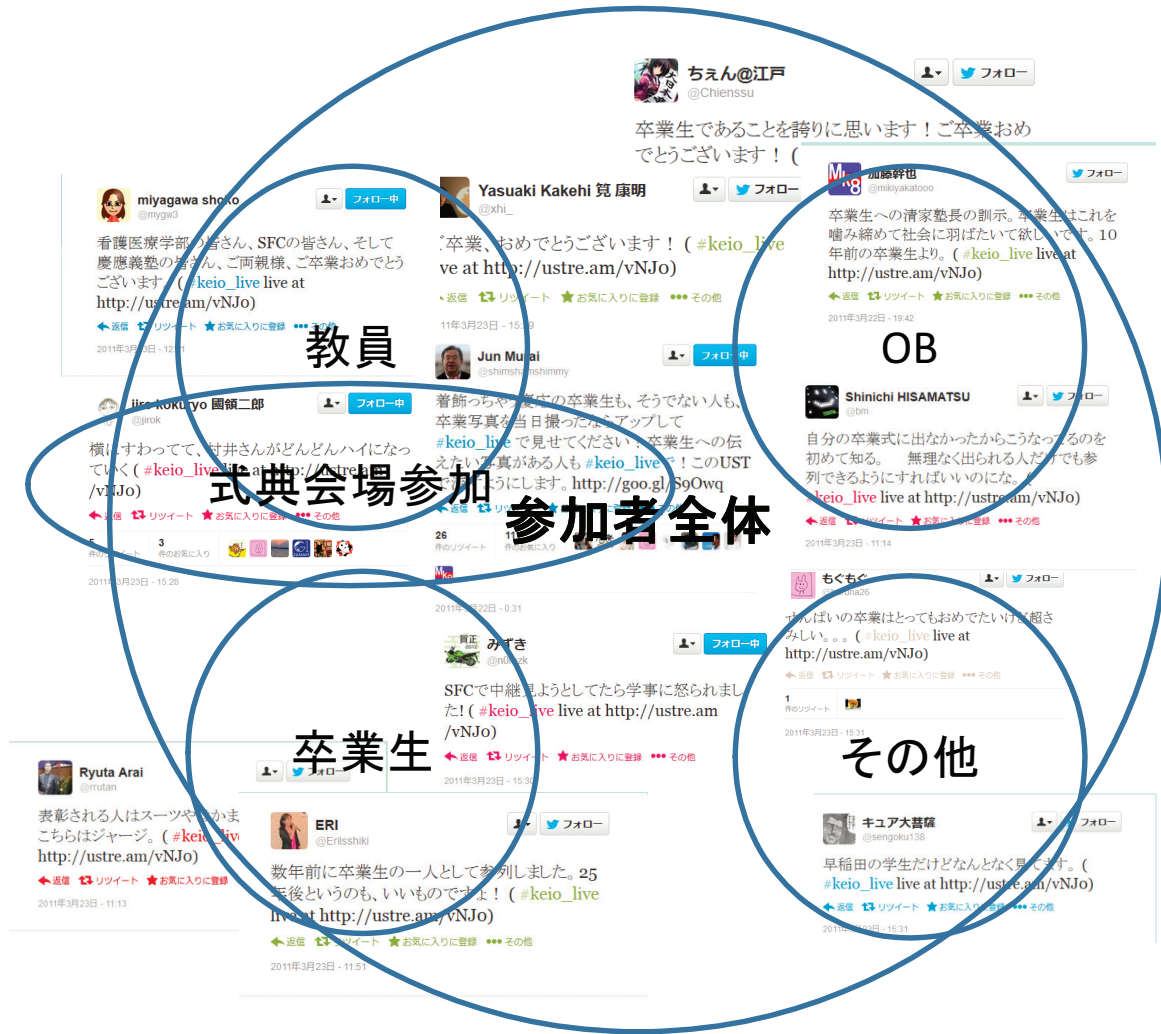


図 5.6: リエゾンスペースにおける参加者セマンティックグループ (学校行事)

5.5.5 オートノマススペース

オートノマススペースでも参加者は、様々なコミュニケーションをおこなった。その一部はリエゾンスペースへ還元されたり、イベント後の検索等によって明らかとなった。

図 5.7 に示す「まとめページ」は、Twitter 上の関連ツイートを有志の参加者が together(<http://together.com/>) を用いて独自に抜粋し、文字色や、サイズの変更、外部写真の取り込み等の装飾をしたものである。

オートノマススペースに構築された「まとめページ」の読み直しで、後日イベントが追体験可



図 5.7: まとめサイトにおけるツイート共有

能となった。現在もプライマリスペースではビデオアーカイブを公開しており、非同期での参加が可能である。しかしリエゾンスペースのメディアエレメントで共有されたメッセージは、大学としては公開していない。しかしオートノマススペースに参加者が構築した「まとめページ」により当時の参加者間の会話や共有されていた写真を振り返ることができ、実質的なアーカイブとして機能している。

卒業式当日に一部の参加者はキャンパスに自主的に集合し小規模なパブリックビューイングを実施した。このパブリックビューイングはイベント前に主催者の blog や twitter を通して告知された [32]。これはオートノマススペースにおける非同期のコミュニケーションである。また、イベント中にはパブリックビューイング会場の様子を写真や動画で共有した。動画配信は、独自に実施されたためオートノマススペースにおけるコミュニケーションである。しかし、写真やパブリックビューイング会場の様子を伝える短文は、リエゾンスペースで他の参加者にも共有された。スポーツの試合や音楽イベントを映画館や屋外の巨大スクリーンで集団視聴するパブリックビューイングやライブビューイングと呼ばれる参加形態は、会場での独特の一体感やイベントへの参加感が得られその有用性を増している。西尾 [11] はパブリックビューイングを、元のイベントに対してパブリックビューイングを主催する主催者の意図が加わった別のイベントとし、これをイベントの再生産と定義している。卒業生によるパブリックビューイングも、筆者らが提供したプライマリスペースでの式典への遠隔参加に、ローカルスペースにおいて身近な仲間とのローカルコ

5.6. まとめ

コミュニケーションをおこなう新しいイベントである。パブリックビューイングの参加者は、本論文で提供したプライムスペースのメディアエレメントを利用し、オートノマススペースとローカルスペースでのコミュニケーションによるイベントを生み出した。

5.5.6 オペレーションメタスペース

本実装では、Ustream や WIDE Cloud といった外部のサービスを多用した。これらの外部サービスの活用により、キャンパス内では動画配信用ストリーミングサーバや Web サーバといった機器をすることなくイベントを実現した。従って、全ての機器を大学内で稼働させた場合よりも消費電力が抑制でき、節電に貢献できた。また震災当時、計画停電と節電対策が取られており多くの機器が停止していたため利用できない状態であった。学内リソースによるオペレーションは不可能であった。

災害時には、メールサーバや業務システム等の最重要な基盤となるサービスの運用継続のため人員が割り振られる。本実証実験がとった外部サービスを組み合わせた実時間イベントは、このような状況下における唯一の選択肢であったとも言える。特定要素技術に依存せず、外部サービスを柔軟に組み込んだオペレーションを実現する CPARSE は有効であった。

また、本実証実験では、プライムスペースやリエゾンスペースの監視を、式典会場外のオペレータが担当した。IRC を用いた分散環境におけるオペレータ間のコミュニケーションも円滑におこなわれ、サイバー空間上の仮想的なコントローラが実時間イベントのオペレーションを実現できた。

5.6 まとめ

本実証実験では、震災により中止となった2つの学校行事を、4つの実時間イベントにより代替した。本実証実験でおこなった実時間イベントにおけるローカルスペースの実空間は、実空間におけるクラシックコンサートをサイバー空間に拡張した4章と異なる。学部学位記授与式と大学院学位記授与式の2つのイベントでは、クラシックコンサートと同様に、式典会場内のローカルコミュニケーションをサイバー空間の参加者がプライムスペースで視聴する形態である。一方、SFC 卒業式(学部)と SFC 卒業式(大学院)では、遠隔賞状授与や修了者読み上げと返答等、サイバー空間の参加者とのインタラクティブなコミュニケーションが前提であり、ローカルスペースだけではイベントが成立しない。こうした、サイバー空間におけるコミュニケーションを前提とした実時間イベントにローカルコミュニケーションを加えた実時間イベントは、「実空間のサイバー空間への拡張」ではなく、「サイバー空間から実空間への拡張」と定義することができる。また、本実証実験ではオートノマススペースで自主的なパブリックビューイングが企画され、実際に数名の参加者が実空間に集合しパブリックビューイングがおこなわれた。CPARSE では、このようにサイバー空間上に共有されたコンテンツデータを用いて、実空間とサイバー空間を統合した新たなイベントが生み出せる。本実証実験でも、イベント中のこうした出来事をモデルの要素を用いて記述することができた。

第6章 実証実験：SFCにおける遠隔授業環境の変遷

本章では、SFCにおける遠隔授業環境の変遷について述べ、本研究の提案するアーキテクチャ CPARSE が異なる要素技術を比較議論できるモデルであることを示す。本研究では、実時間イベントで得られた知見を次世代の設計に活用しながら、継続的に環境の構築を支援してきた。本章では、2000年以降、SFCにおける遠隔授業環境の構築について述べる。要素技術の進化に応じて、新たなメディアエレメントを構成する多様なデバイスやサービスを遠隔授業環境に取り入れてきた。本章では、こうした環境の変遷について述べた後、2007年から現在に至るまで利用している遠隔授業環境の詳細について述べる。

6.1 SFCにおける遠隔授業の変遷

図 6.1, 図 6.3, 図 6.2 に SFC における遠隔授業の変遷を示す。本研究が開始された 2000 年度には、個々の教員による実験として扱われていたが、現在では大学間の協定による連携授業や単位互換等もおこなわれ、実施される授業数や接続先も増えている。

こうした中、遠隔授業において用いられる要素技術は、常に変化してきた。2000 年頃には、H.323 (Polycom Viewstation 128) を用いた 2 地点間の遠隔授業による授業の共有や、出張先からの遠隔授業実験がおこなわれた。2001 年頃に開始された DVTS を用いた 2 地点間の遠隔授業では、初期の遠隔授業における課題であった解像度やフレームレート等のプライマリスペースにおけるメディアエレメントの品質改善をおこなった。その後も現在に至るまで、遠隔授業における課題の抽出と分析、そして解決をおこなってきた。本節では、初期の遠隔授業から 2013 年現在 SFC で運用されている常設の遠隔授業システムに至るまでの変遷を示し、本研究との関連を示す。

6.1.1 参加者からのフィードバック収集

4 章、5 章で述べた実証実験では、イベントの参加者から実時間イベントに関する情報を、リエゾンスペースの Twitter ハッシュタグや一部のオートノマススペース上のコミュニケーションから取得した。

本節では、リエゾンスペースのメディアエレメントとして、SFC-SFS[33] (授業調査) や SOI における授業調査、授業 BBS 等、参加者の一部である教員、またオペレータからのコメントを元に実時間イベントにおける課題を抽出した。

6.1.2 プライマリスペースの変遷

まず、図 6.1 にプライマリスペースの変遷を示す。SFC における遠隔授業では、プライマリスペースにおいて、様々なメディアが活用されてきた。しかしそれらは全て、CPARSE では、プラ

イマリススペースにおける、双方向映像音声メディアエレメントと片方向映像メディアエレメントにモデル化できる。双方向映像音声メディアエレメントは、参加者間で教員や学生の発言やジェスチャもしくは板書された情報の共有に用いられる。片方向映像メディアエレメントは、Power Point ファイルやPC画面等の授業資料、学生発表資料の共有に用いられる。2000年と現在では、プライマリスペースで利用されているメディアエレメントの実装に用いられる要素技術は異なるが、教室における授業で共有される情報は不変的なものである。したがってその間の技術の進化を、同一種類のメディアエレメント上でフォーマットの変遷として比較できる。

2000年の遠隔授業では、教員側から遠隔教室で参加する参加者(学生)を識別できないといったフィードバックや、学生からも教員が教室を移動したり素早い動きのジェスチャをする場合や、板書の文字が読めないといった課題が指摘された。これらの課題の解決のため次世代の遠隔授業環境では、プライマリスペースのメディアエレメントにDVTSを用いた。DVTSは前世代で用いたPolycom Viewstation 128と比較し映像解像度が高くフレームレートも高い。Polycom Viewstation 128で利用したQCIF解像度(176×144ピクセル)からDVTSでは640×480ピクセル(SD相当)となり、相手やその表情を識別したり、板書の大きな文字が読める環境となった。その後、2007年にはHD(720p/1260×720ピクセル)に対応したH.323システムのPolycom HDX 9000シリーズを用い解像度を向上させた。

同様に、片方向映像メディアエレメントで共有される授業資料も、様々な技術を用いてきた。2000年時点では、複数地点に設置されたPower Pointを制御ソフトRPTで遠隔操作し、同期をおこなった。しかしPower Pointファイルしか共有できない、レーザーポインタやペンツール等が使えない、事前にファイルを配布しなければ利用できない等の問題があった。その後、ペンツールを実装した他の同期ソフトGOZARUを利用した後、2007年からはH.239によるPC画面共有を用いた。H.239の利用でPC画面上に表示される映像は全て共有可能となりPower Point以外の資料の利用や授業中に事前に配布していない資料を共有することが可能となった。しかし、フレームレートが低く動画資料がある場合には、以前の事前配布の方が高品質となる新たな課題も生まれている。

また、図E.1に示すように、双方向映像音声メディアエレメント内で映像チャンネルを増やし、複数視点映像を共有する試みもおこなった。教室内の授業と異なり体を動かす実習では、指導者は学生の周囲を動き周って様々な視点から観察しながら指示する。しかし、1視点の映像では遠隔地との間で実習を伴う授業がおこなえない。その為、メディアエレメント内でチャンネル数を増やして、図E.1に示す環境とした。

6.1.3 リエゾンスペースの変遷

図6.2に、SFCにおける遠隔授業のリエゾンスペースの変遷を示す。SFCにおける遠隔授業では、参加者間のコミュニケーション手段の確保に2章で述べたgayaシステムや属性情報共有システム等を実験的に利用してきた。また、授業毎に用意されるBBSや授業調査システムにより実時間イベントである授業参加者や教員のフィードバックを非同期で収集してきた。

CPARSEでは、これらのシステムをリエゾンスペースにおける文字を用いたメディアエレメントとして表現できる。図6.2に示すように授業中にgayaシステムを用いた参加者からのコメントの収集は、現在ではTwitterハッシュタグによるツイートの収集やFacebookグループ等のソーシャルメディアの一部を利用する形に発展している。また、ソーシャルメディアの利用で参加者の属性等、発言以外の情報も収集できる。

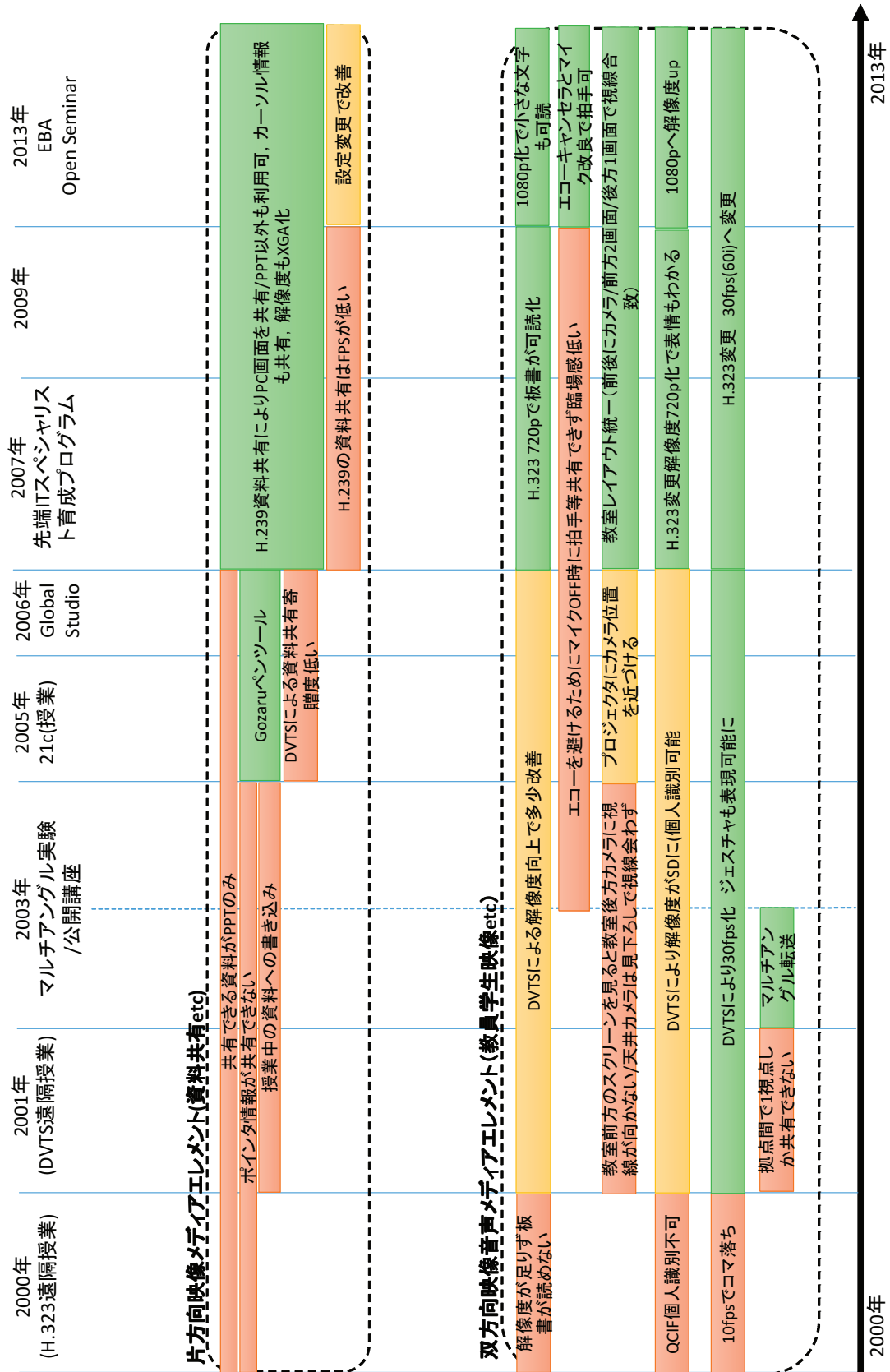


図 6.1: プライマリスペースにおける遠隔授業の変遷

6.1. SFCにおける遠隔授業の変遷

2013年現在、EBA Open Seminarでは、Facebook上にフィールドワーク参加者がグループを形成しコミュニケーションしながらEBA Open Seminarに参加したり、オペレータと参加中のトラブルや技術情報を共有する等4章や5章で述べた実証実験と同様のコミュニケーションが発生している。図F.1にEBA Open Seminar中のFacebookグループのコミュニケーションの様子を示す。

6.1.4 オートノマススペースの変遷

図6.2にSFCにおける遠隔授業のオートノマススペースの変遷を示す。オートノマススペースは自律的に利用されるため、図6.2がオートノマススペースにおける全てではない。

教室内で利用可能なデバイスが携帯電話やノートPCからスマートフォンやタブレット端末へ多様化すると共にリアルタイム性の高いソーシャルメディアが利用されるようになった。

6.1.5 オペレーションメタスペースの変遷

図6.3に、オペレーションメタスペースの変遷を示す。SFCにおける遠隔授業は、当初は教育事業ではなく研究の一環としての実験であった。そのため、遠隔授業の実施担当者だけでなく、その記録をおこなうスタッフ等、多数のオペレータを実空間に配置できた。

しかし、マルチアングル撮影によるカメラ台数の増加や、同時接続拠点数の増加に伴い、遠隔授業のオペレーションに必要な人的コストが課題として表面化した。2007年より運用している現在の遠隔授業環境では、オペレーションコストの課題に対して、H.323予約システムによる自動接続、ネットワークカメラによる監視等のシステムを用いてオペレーションコストを低減している。

SFCでは過去におこなわれてきた多くの実時間イベントにおける知見を用いてオペレーション上の様々な課題を解決してきた。しかし、現在でも新たな課題が発見されている。例えば2013年度より開始されたEBA Open Seminarでは海外の大学とも接続される。アジア地域の大学との間では什器の位置統一等、これまで実施してきた課題の発見や解決がなされていない。また一部拠点では帯域が不足する等、接続先毎に異なる環境となっておりそのオペレーション体制に課題が多い。

6.1.6 まとめ

本節では、SFCにおける遠隔授業環境の変遷を示し、授業の実践とそこで得られた課題が次世代の設計に活用され、どのように解決されたかを示した。次節以降では2007年に構築した先端ITスペシャリスト育成プログラムにおける遠隔授業環境でおこなった実証実験について述べる。

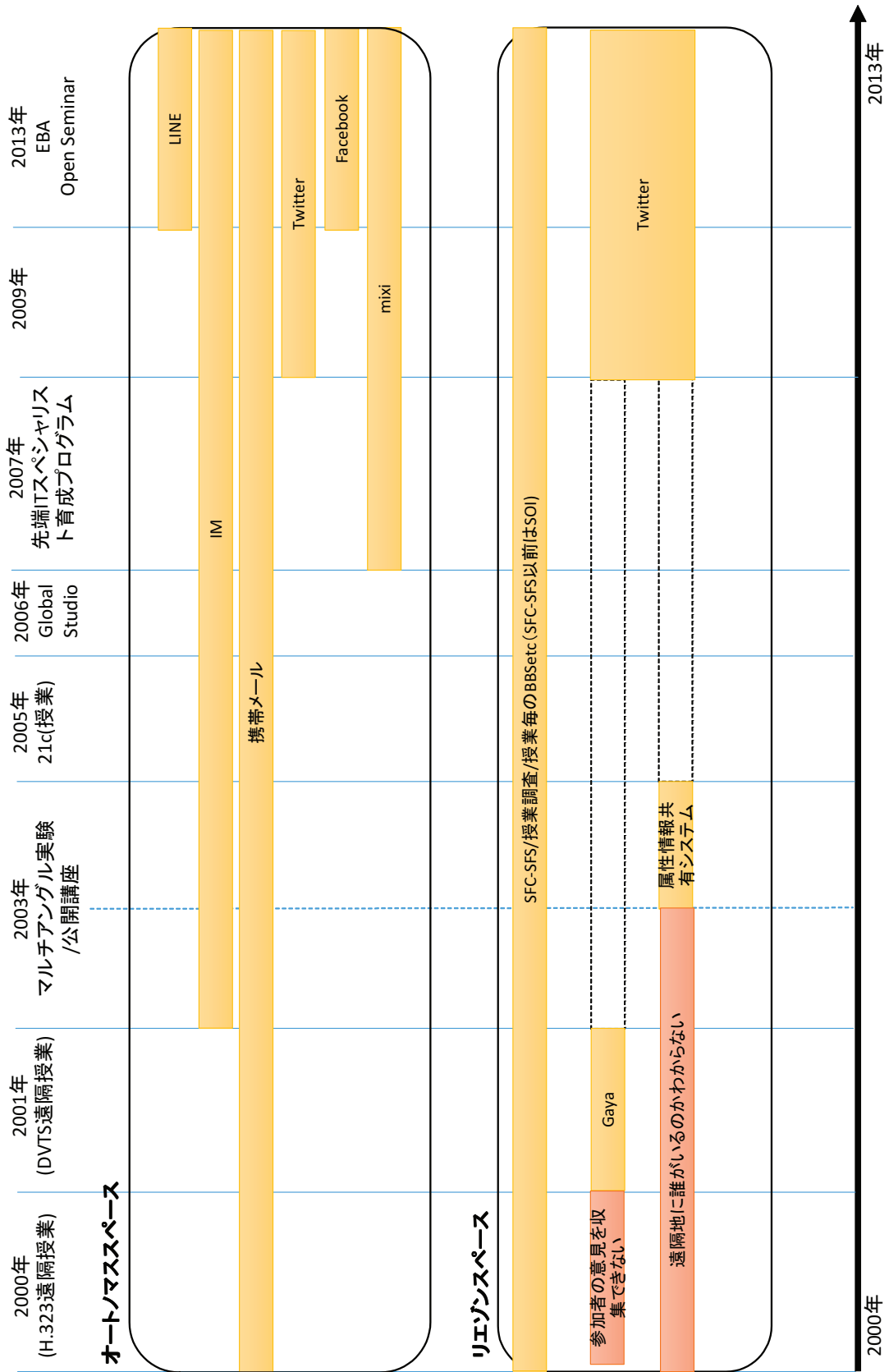


図 6.2: リエゾン・オートノマススペースにおける遠隔授業の変遷

6.1. SFCにおける遠隔授業の変遷

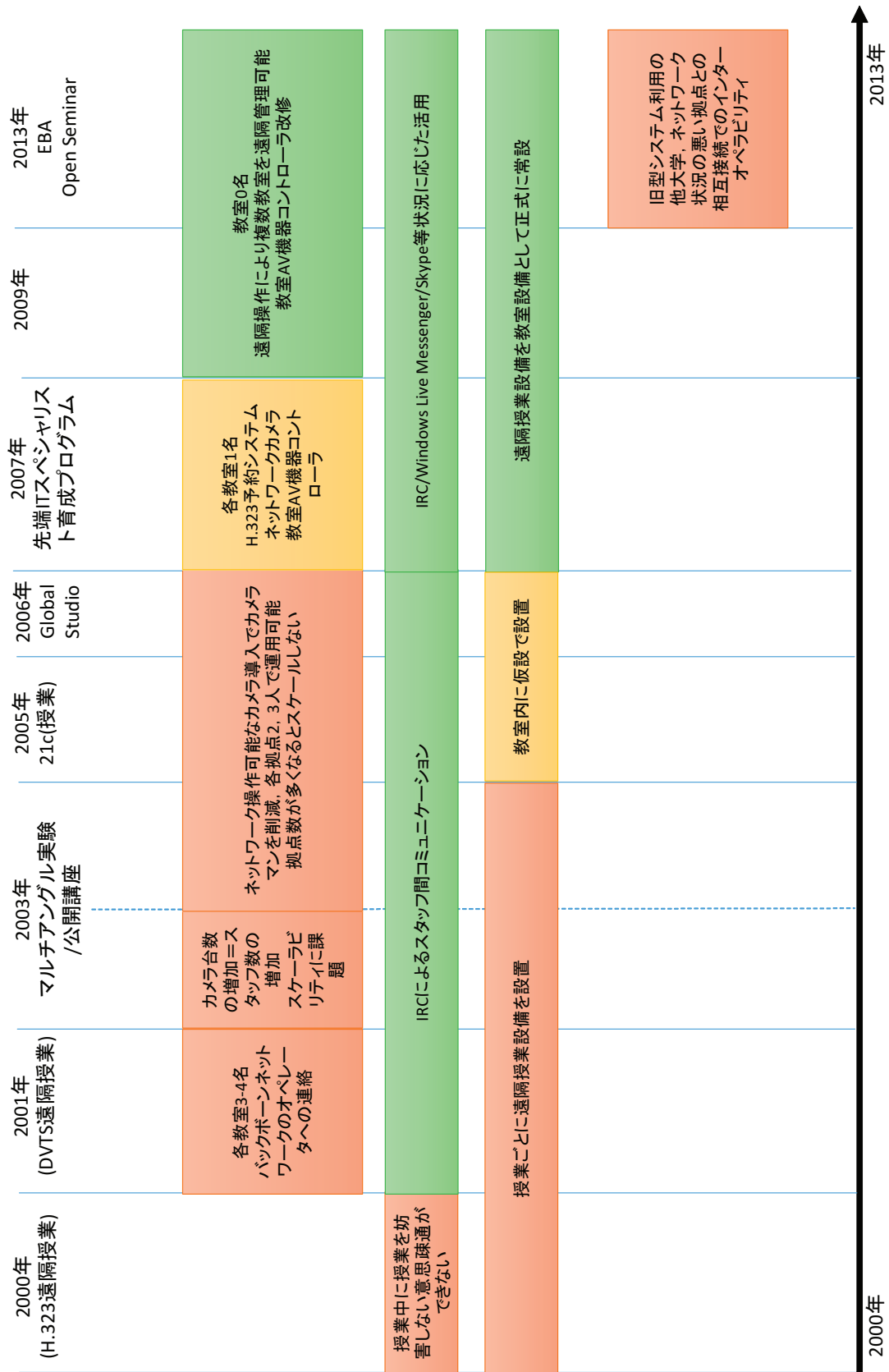


図 6.3: オペレーションメタスペースにおける遠隔授業の変遷

6.2 先端 IT スペシャリスト育成プログラムにおける遠隔授業環境

6.2.1 概要

先端 IT スペシャリスト育成プログラムにおける多地点遠隔授業環境でおこなった実証実験について述べる。2007 年度より、慶應義塾大学（湘南藤沢キャンパス，矢上キャンパス），早稲田大学，中央大学，情報セキュリティ大学院大学（IISEC）の 4 大学 5 キャンパスを接続し，授業共有を伴う合同カリキュラムによる人材育成を多地点遠隔授業により実施した [34]。

本実証実験では，当時の遠隔授業における課題の解決を目指し，プライマリスペースにおけるメディアエレメントの品質化とオペレーションメタスペースにおけるオペレーションコストの軽減を図った。本章では，実証実験におけるオペレーションメタスペースとプライマリスペースに焦点を当て詳細について述べる。

6.2.2 実証実験の背景

大学間連携と遠隔授業

先端 IT スペシャリスト育成プログラムの目的は，専門的知識と実践的な能力を備えたスペシャリストの育成である。しかし，単一の大学が人材育成に必要な教員をそろえることは困難である。こうした背景により，複数大学や企業が協同でカリキュラムを構成し，合同授業をおこなう産学連携によるプログラムが考案された。しかし，物理的に分散する複数大学で，キャンパス間を移動する合同授業や集中授業は，学生，教員，また教員を派遣する企業にとって負担が大きい。そのため所属キャンパスで他大学の授業に参加できる遠隔授業の利用が適切である。

本実証実験では，先端 IT スペシャリスト育成プログラムにおける 4 大学 5 キャンパスにおける多地点遠隔授業を取り上げる。

課題

キャンパス間を移動する合同授業や長期休暇中の集中講義と比較し，物理的な移動の無い遠隔授業は教員にとっても学生にもメリットは大きい。しかし遠隔授業は，ローカルスペースの同一教室内でおこなう授業に比べ教員，学生双方にとって共有される情報が少ない。遠隔教室から参加する学生が授業に集中しにくく，教員も遠隔教室の学生の様子を把握しにくい。本研究では，先端 IT スペシャリスト育成プログラム以前にも，プライマリスペースにおけるメディアエレメントの品質向上等をおこなってきた。しかし，板書の文字や表情は当時においても完全ではなかった。視線の合致に関してもカメラとプロジェクタの位置関係を近づける等していたが，多くの遠隔授業では視線が合致しにくい状況が続いていた。講義資料の共有でも，Power Point に限定され授業中に追加資料を共有できない講義資料の共有は，教員からの不満が多かった。事前に用意した資料だけでなく Web 上で動的に生成されるデータの登場等，新しい講義資料の形式に対応できないことは大きな問題であった。

オペレーションスペースにおいては，それまで研究としておこなっていた遠隔授業を，大学間の教育連携による事業としておこなうにあたり，オペレーションコストも課題となった。教室で機器の制御や監視をおこない，遠隔授業のスムーズな進行にはオペレータが必須である。しかし，教員や TA など授業関係者は授業そのものへ集中すべきであり，オペレーションへの過度な負担は授業品質の低下を招く。またカメラやプロジェクタなど教室内の AV 機器は，教室内部での操作が前

6.3. 目的とアプローチ

提である。複数教室でのオペレーションには接続される教室数と同数以上のオペレータが必要になり、人的コストが高い。遠隔授業に関するノウハウをもったオペレータは限られており、共有される授業数が増えた際のオペレーションメタスペースのスケラビリティは大きな課題であった。

6.3 目的とアプローチ

先端 IT スペシャリスト育成プログラムにおける実証実験では、多地点遠隔授業のオペレーションコストの低減、プライマリスペースにおけるコミュニケーション品質の向上により 4 大学 5 キャンパス間での多地点遠隔授業の成功を目的として定めた。

オペレーションスペースにおけるオペレーションコストの低減として、本実証実験ではこれまで人間のオペレータがおこなっていたオペレーションの一部を自動化により、実時間イベントオペレーションの省力化を進める。

プライマリスペースでは、教室間を接続する双方向映像音声メディアエレメントでのコミュニケーション時に参加者間での視線が合致する環境の構築、資料共有に用いる片方向映像メディアエレメントで共有できる資料種類の拡充、ポイント情報の共有、授業中の追加資料共有を実現する。

6.4 設計

6.4.1 参加者の参加形態

本実証実験では、以下の参加形態を定める。本実証実験では全ての参加者が 4 大学 5 キャンパスいずれかの教室から参加する。したがって全参加者が、同一参加形態でイベントに参加する。

先端 IT スペシャリスト育成プログラムにおける参加形態

授業担当教員がいる教室での参加もしくは、教員がいない教室のいずれの教室からの参加であっても CPARSE 上では、同じ参加形態として記述される。

ローカル：○

プライマリ：○

リエゾン：× (授業中は未設定)

オートノマス：○

6.4.2 実時間イベント全体の設計

図 6.4 に、先端 IT スペシャリスト育成プログラムにおける遠隔授業の設計全体図を示す。本実装では、リエゾンスペースでのコミュニケーションは、ローカルスペースやプライマリスペースにフィードバックせず、非同期での利用のみとした。

6.4.3 ローカルスペースの設計

図 6.4, において教員を P_1 , 授業発信教室を R_1 する。 P_2 から P_n までの参加者は授業を受ける学生とし、 R_2 から R_5 までの学生のみで構成される教室を、授業受信教室とする。各実空間内で

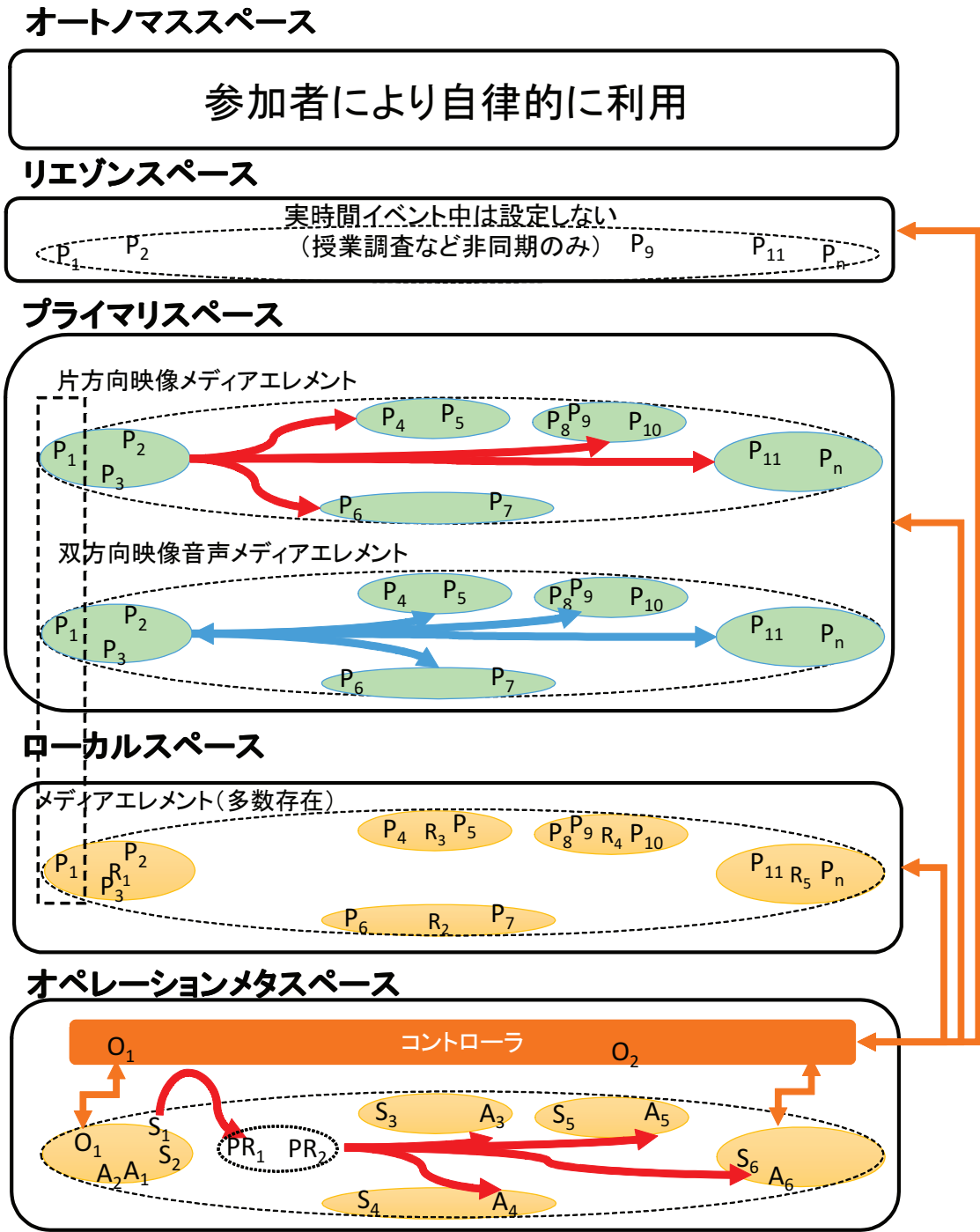


図 6.4: 先端 IT スペシャリスト育成プログラムにおける遠隔授業環境全体図

はローカルスペースにおけるローカルコミュニケーションがおこなわれ、 R_1 内では教員の授業をローカルコミュニケーションで受講する。

6.4.4 プライマリスペースの設計

プライマリスペースでは、片方向映像メディアエレメントと双方向映像音声メディアエレメントの2つのメディアエレメントを用いて以下の情報を共有する。

- 双方向映像音声メディアエレメント
 - 教員の姿, ジェスチャ
 - 教員の発言
 - 学生の姿, ジェスチャ
 - 学生の発言
- 片方向映像メディアエレメント
 - 授業資料(教員)
 - 発表資料(学生)

本実証実験では、双方向映像音声メディアエレメントを用いて、主に教員による授業と質疑応答等遠隔教室から参加する学生とのインタラクティブなコミュニケーションを実現する。この時、教員の姿、ジェスチャは表情が読み取れる解像度、素早い手の動きなどジェスチャが判別できるフレームレートを持つ。同様に学生の姿、ジェスチャは質疑応答時に質問者の表情が読み取れる解像度、素早い手の動きなどジェスチャが判別できるフレームレートの映像により伝送する。また視線が合致するよう質疑応答時には、質問者の映像が正面を向き、教員と視線が合致するよう考慮する。また視線が合致するよう質疑応答時には、送信映像が正面を向いた物とする。授業資料の方向を指示する場合等、遠隔教室でも教員映像と授業資料の位置関係が同一とする。また音声は、エコー等が無く、ざわめき等のないクリアな音声を共有できることとする。したがって学生の発言は、質疑応答の質問者等の教員により指示された学生による発言のみを音声メディアエレメントを用いて伝達する。

片方向映像メディアエレメントでは、講義資料や学生の発表資料等を共有する。 R_1 から R_5 までに分散する参加者のうち、1名が資料を発信し、残りの地点に参加する参加者へ講義資料や発表資料を伝達できる。資料の発信者は、授業中にいつでも切替できることを定める。また共有される資料の形式は、Power Point や keynote 等のプレゼンテーション用ソフトウェアに限定せず、Web ブラウザ、動画、紙への手書き(書画カメラ)、立体物(書画カメラ)等多様な形式へ対応する。

6.4.5 オペレーションメタスペースの設計

図 6.4 にプライマリスペースの片方向映像メディアエレメントのオペレーションメタスペースにおける設計を示す。オペレーションメタスペースでは、授業発信教室 R_1 における教員 P_1 の授業資料を S_1 によりセンシングし、コンテンツデータとしてプロセッサ PR_1 に送り、ファイル形式を変換する。生成されたコンテンツデータをプロセッサ PR_2 を用いて R_2 から R_5 のアクチュエータ A_3 から A_6 へ送信し、アクチュエータが各実空間にフィードバックし参加者のコミュニケーションが成立する。双方向メディアエレメントでも同様に CPARSE によるモデル化をおこなう。

プライマリスペースの双方向映像音声メディアエレメントで定めた視線の合致は、図 6.5 に示す標準教室レイアウトにより解決する。複数教室間での会話時に視線を合致させ、発言者と授業資

料の左右の関係を維持するため、標準教室レイアウトにより教室内の主要な機器の位置関係を統一する。全ての教室において、Screen1に授業資料、Screen2とScreen3に遠隔地の参加者映像を表示する。授業発信教室では、教員の発言時に教室後方のCamera2、学生の発言時にはCamera1を他の地点へ送信する。授業受信教室では常時、Camera1映像を送信する。オペレーションメタスペースでは、教室内のScreenはアクチュエータ、Cameraはセンサとしてモデル化される。

これらのセンサ、プロセッサ、アクチュエータのコントロールはオペレータとその集合による

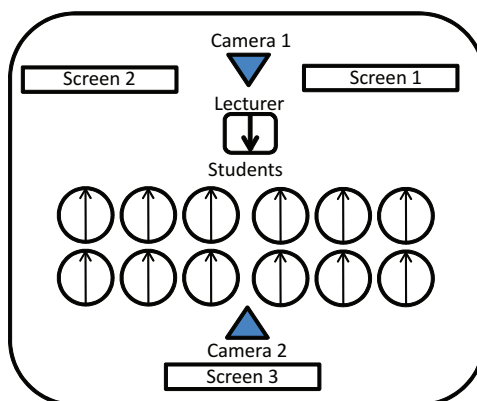


図 6.5: 標準教室レイアウト

コントローラによりおこなわれる。本実証実験では、遠隔操作や監視によりオペレータ数の削減をする。

6.5 実装

6.5.1 ローカルスペースの実装

本実証実験では、4大学5キャンパスに遠隔授業教室を構築した。付録Gの図G.1図G.2に構築した教室例を示す。構築した教室ではプロジェクタやカメラ位置を統一し、視線合致や授業中の左右を拠点間で統一した。

6.5.2 プライマリスペースの実装

本実証実験では、プライマリスペースの双方向映像音声メディアエレメントと片方向映像メディアエレメントを以下のように実装した。

双方向映像音声メディアエレメント

ビットレート:約 1920kbps

解像度: 1280 ピクセル× 720 ピクセル (H.264)

音声:ステレオ 22khz

片方向映像音声メディアエレメント

ビットレート:0-500kbps

6.6. 評価

解像度：1024 ピクセル× 768 ピクセル (H.264)

6.5.3 オペレーションメタスペースの実装

プライマリスペースの2つのメディアエレメントの実装には、HD 対応の H.323 通信に対応した Polycom 社製の HDX 9000 (SFC,IISEC) もしくは HDX 8000(矢上, 早稲田, 中央) をエンドポイントとして採用した。またこれらのエンドポイントを相互接続する HD 対応多地点接続装置 (MCU) には Polycom 社製の RMX 2000 を用いた。

図 6.6 に先端 IT スペシャリスト育成プログラムにおける、多地点遠隔授業環境の遠隔制御と自動化の実装を示す。オペレーションメタスペースのコントローラは、実空間の人間であるオペレータの集合であるが、本実装ではコントローラを構成するオペレータの数を、1人のオペレータが複数教室の機器操作と監視をおこなうことによって削減した。プライマリスペースにおけるメディアエレメントはテレビ会議システムにより実現するが、MCU から各教室の接続や切断は、Web 予約システムにあらかじめ授業スケジュールを登録して自動化した。授業開始 10 分前に接続され、授業終了 10 分後に自動切断され、オペレータによる操作を不要にした。

教室内におけるカメラやマイク等のセンサやディスプレイやスピーカー等のアクチュエータの遠隔制御と監視には、東通産業製のシステムコントローラとタッチパネルインターフェースを全教室に設置した。またシステムコントローラは教室内タッチパネルインターフェースだけでなくインターネット経由で Web ブラウザーからも制御可能とした。

コントローラはオペレーションに必要な情報として、ローカルスペースとプライマリスペースの監視をおこなう。過去の実装では各教室にオペレータを配置したが、本実装ではオペレータがいない遠隔教室の監視には、Panasonic 製ネットワークカメラを用い映像と音声によって監視した。ネットワークカメラを全教室に設置し Web ブラウザを用いて任意の地点から他の地点でのセンサーやアクチュエータの実際の動作状況を監視可能にした。

また、MCU、システムコントローラ、テレビ会議システム等主要な機器への ping 監視をおこない、インターネット上からアクセス可能なことを、24 時間常時監視して授業時のトラブルを未然に防いだ。図 6.7 に監視画面の表示例を示す。赤い×が表示される機器は ping による疎通がない状態、青い○表示は正常稼働を示す。疎通がない機器は授業開始時までにトラブルシューティングをおこなう。

6.6 評価

6.6.1 ローカルスペースの評価

先端 IT スペシャリスト育成プログラムでは、遠隔授業の導入によって、教員、学生の物理的な移動を最小限とした、複数大学間の連携によるカリキュラムを実現した。また、実際に多くの遠隔授業を実践しその有用性を示した。

ローカルスペースの実空間の教室の存在により、教員は遠隔授業でありながら、ローカルスペースでのコミュニケーションを通じた非言語によるフィードバックも受けられる。これは、学生の理解度を推測したり、一部の参加者とのインタラクティブなコミュニケーション(指名等)を通し

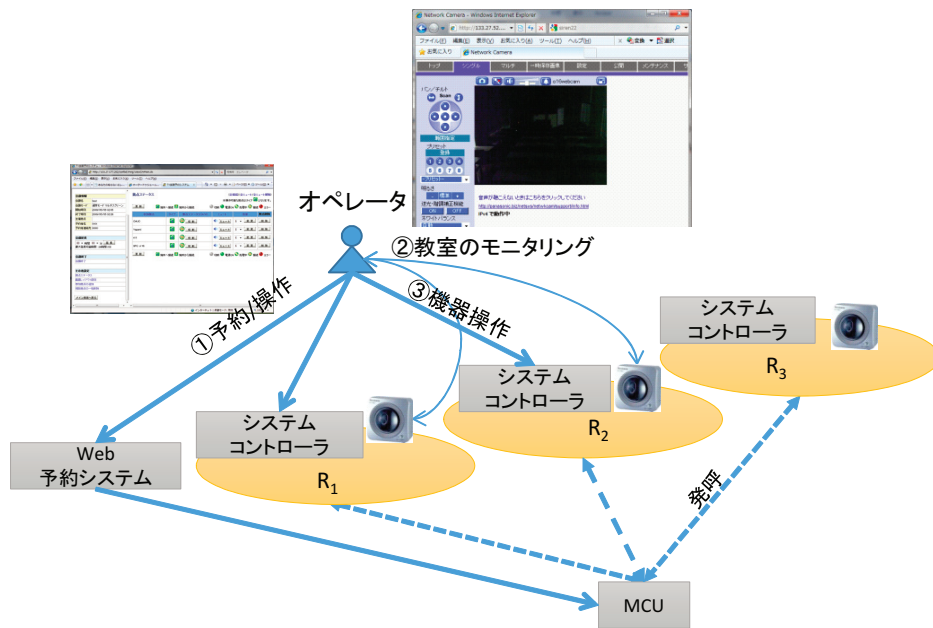


図 6.6: 先端 IT スペシャリスト育成プログラムにおける遠隔制御と自動化

設定名	IPアドレス	I/F状態	今の状態になった時
Delta 1F meeting room	133.27.18.123	Up	2010/10/15 03:08
mail.sfc	203.178.142.130	Up	2010/10/15 03:09
日吉GS webcam	131.113.252.92	Up	2010/10/23 18:29
日吉GS Gateway	131.113.252.65	Up	2010/10/23 18:29
Ω 22 Polycom	203.178.140.125	Up	2010/10/15 03:09
日吉GS	131.113.252.66	Down	2010/10/22 17:59
IIEC Polycom	210.137.141.145	Up	2010/10/15 16:13
所長室Webcam	203.178.140.104	Up	2010/10/23 20:32

設定	状態	経路情報	最近のログ
2010/10/23 20:09:08	Ping to 131.113.252.66	Timed Out	
2010/10/23 20:04:08	Ping to 131.113.252.66	Timed Out	
2010/10/23 19:59:08	Ping to 131.113.252.66	Timed Out	
2010/10/23 19:54:08	Ping to 131.113.252.66	Timed Out	
2010/10/23 19:49:08	Ping to 131.113.252.66	Timed Out	
2010/10/23 19:44:08	Ping to 131.113.252.66	Timed Out	
2010/10/23 19:39:08	Ping to 131.113.252.66	Timed Out	
2010/10/23 19:34:08	Ping to 131.113.252.66	Timed Out	
2010/10/23 19:29:08	Ping to 131.113.252.66	Timed Out	
2010/10/23 19:24:08	Ping to 131.113.252.66	Timed Out	

図 6.7: ping による機器への疎通監視

た授業運営となっている。学生も他キャンパスや他大学へ移動すること無く、所属キャンパスで授業に参加できるメリットが得られた。また教室に集合し双方向映像音声メディアエレメントで接続されることで、同じローカルスペースの教室から参加する学生の存在や、教員から見られている感覚が得られ、緊張感を持って授業に参加できた。

6.6.2 プライマリスペースの評価

本実証実験では、授業発信教室の教員による授業、遠隔の授業受信教室から参加する学生の存在や質疑応答を、双方向映像音声メディアエレメントと片方向映像メディアエレメントの2つを用いて共有した。その実装には H.323 によるテレビ会議システムを用いた。

6.7. まとめ

6.1節における分析, 特に図 6.1 に示すように本実証実験では, プライマリスペースにおける課題のうち, 双方向映像音声メディアエレメントでは, 解像度やフレームレートの向上による板書やジェスチャ参加者の表情, 個人の認識を可能とした. また, 本実装では, 複数実空間における視線の合致に取り組んだ. 授業中の教員は, 遠隔教室から送信される学生映像を分割画面に表示し全教室の学生の様子を概観できた. 教員から視認されていること, また視認されていることが遠隔教室の学生にも伝わることで, 遠隔教室でも集中しやすい環境を作った. 遠隔教室との質疑応答時には, 質問者がいる教室の拡大映像と他の学生教室の縮小映像が表示される. このとき教員が教室前方のプロジェクタに視線を向けると, 遠隔教室のプロジェクタに教員の背中が表示され視線が合致しない. 本研究では, 教室後方に質問者映像が表示されるよう全ての教室で教室レイアウトを統一し, 質疑応答時にの視線合致に成功した. プライマリメディアの映像品質も 720p 相当の HD 解像度で板書や教員の表情が読み取れた. こうした取組によりプライマリスペースにおける参加者間コミュニケーションの品質は向上したと言える.

また片方向映像メディアエレメントでは, これまで PowerPoint に限定されていた講義資料を H.239 による画面共有に変更したことで, Web や書画カメラ等様々な資料を教室間で共有可能とし, また授業時間内に追加で新たな資料を準備しても対応できるようになった. 一方で資料の同期だけをおこなっていた過去のシステムと異なり, H.239 では共有される資料のフレームレートが 10 フレーム前後に抑えられた. その為動画の再生時には, 遠隔教室で映像品質に不満が発生した.

6.6.3 オペレーションメタスペースの評価

本実証実験では, 既存の遠隔授業において教室間の接続や機器の操作等のオペレーションコストが高い課題を, 機器制御や監視の自動化と遠隔制御により, 改善することを目的とした.

CPARSE により構築された多地点遠隔授業環境を用いて, 2007 年度より現在まで 300 回以上の多地点遠隔授業をおこない, 必要最小限のオペレータによる遠隔授業が実現した [35]. 全教室にオペレータを必要とする場合と比較しオペレーションコストの削減に成功したと言える.

6.7 まとめ

本章では, SFC における遠隔授業環境の変遷について述べた. 本研究において提案した実時間イベントアーキテクチャ CPARSE により, 過去の実時間イベントをモデル化し CPARSE 内のスペース毎に発生した課題に注目した. 本研究では, 発見した課題を次世代環境の構築時に解決するアプローチを取った. その具体例として本章では, 先端 IT スペシャリスト育成プログラムにおける遠隔授業環境構築について述べた. 本実証実験では, 過去の遠隔授業において問題となっていた視線の合致や講義資料における課題を, プライマリスペースにおいて解決し, オペレーションコストの課題を, オペレーションメタスペースにおいてオペレーションの自動化省力化により解決した.

第7章 結論

本章では、本研究のまとめとして CPARSE により実現した多種多様な実時間イベントの総括と、サイバー空間と実空間を統合するの意義について述べる。また、CPARSE を活用した実時間イベントを実施する時に考慮すべき点についてまとめる。そして、今後の課題について述べる。

7.1 サイバー空間と実空間の統合した実時間イベントの実現

7.1.1 サイバー空間と実空間の統合

本研究では、実時間イベントアーキテクチャ CPARSE を提案し、サイバー空間と実空間を統合した実時間イベントを実現した。図 7.1 に CPARSE により実現する多様な実時間イベントを分類する。本研究により、実空間からサイバー空間、またはサイバー空間から実空間に、参加者間のコミュニケーションが拡張され、多様な実時間イベントへの参加形態を定義することが可能となった。

本節では、各分類それぞれの特徴と代表的な実時間イベント例を示す。

7.1.2 実空間

CPARSE では、同一実空間に閉じた実時間イベントを、ローカルスペースに参加する参加者間のローカルコミュニケーションだけで完結する実時間イベントとして記述できる。ローカルコミュニケーションはオペレーション不要のため、オペレーションメタスペースにおけるオペレーションは必要としない。従って、その日その場所に集まらなければ参加できない実時間イベントが本分類にあたる。

7.1.3 サイバー空間

CPARSE では、ローカルコミュニケーションを伴わないサイバー空間上における実時間イベント参加を、発言内容やジェスチャ等の情報をプライマリスペースのメディアエレメントで共有し、コミュニケーションする参加形態と定義する。この時、オペレーションメタスペースでは、サイバーフィジカルシステムのアプローチによりモデル化されたセンサ、プロセッサ、アクチュエータとそれを監視制御するコントローラにより、プライマリスペースのコミュニケーションを記述できる。但し全ての参加者が個人参加の場合、参加に用いる PC やスマートフォン等のデバイスは、参加者自身が管理するため、CPARSE によるオペレーションの範囲外となる。

実空間を伴わずサイバー空間だけでおこなわれる実時間イベントは、本研究の対象ではないが、2章で述べた Second Life や MMORPG 上の実時間イベントへの参加が本分類にあたる。

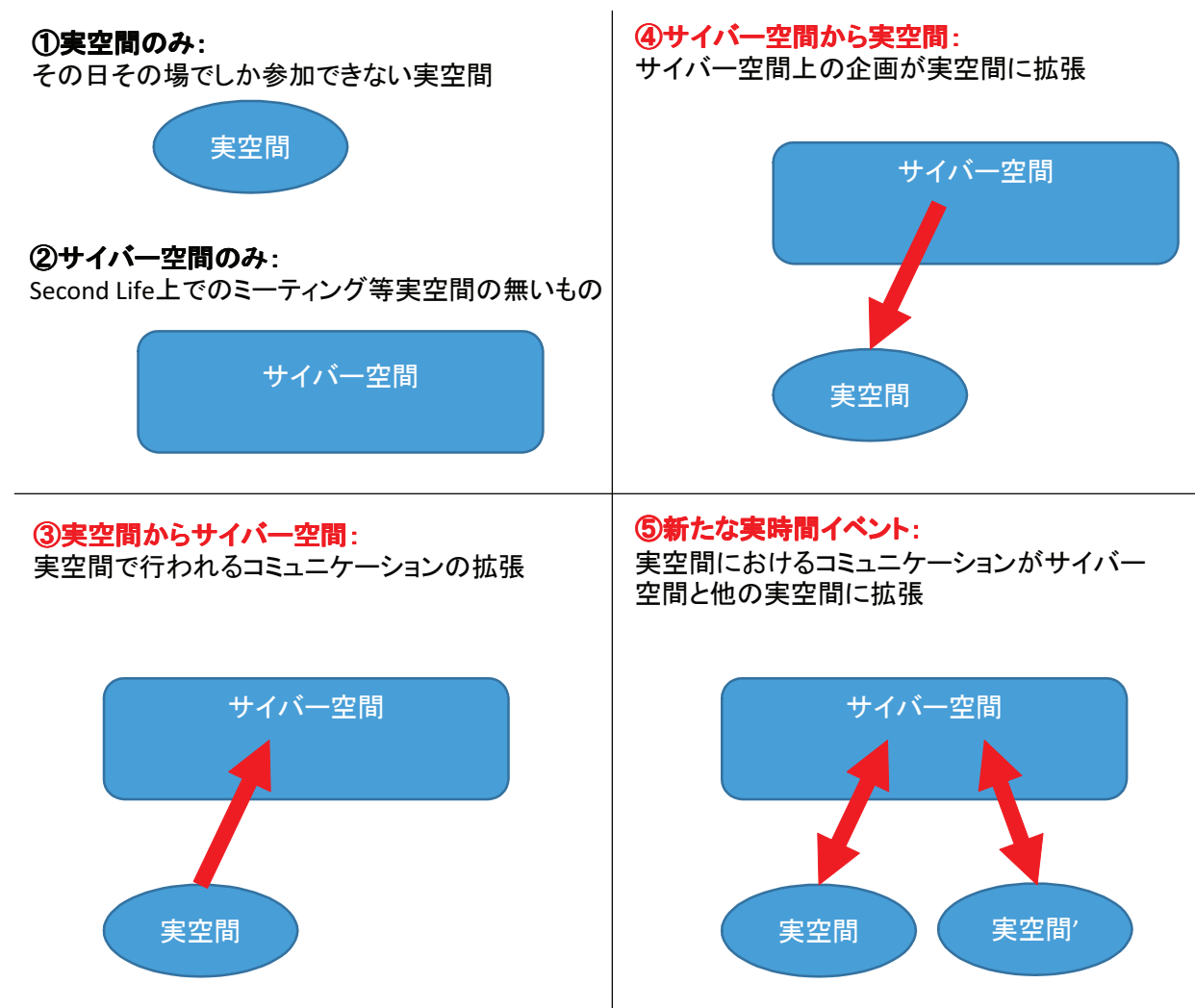


図 7.1: サイバー空間と実空間の統合

7.1.4 実空間からサイバー空間を統合

CPARSE は、実空間におけるローカルコミュニケーションを、複数のメディアエレメントを用いてサイバー空間へ拡張できる。実空間からサイバー空間へ拡張することで、実空間の制約である、場所や会場の収容人数から解放された実時間イベントが実現する。また CPARSE では、リエゾンスペースやオートノマススペースにおける参加者間コミュニケーションも実現する。リエゾンスペースを設け、プライマリスペースと干渉しないメディアエレメントを用いることで、授業中の教室内で授業を妨害しない質問やコメントの収集や集約、実空間やプライマリスペースでの実時間イベントに参加しないサイバー空間上の参加者同士の実時間イベントを妨害しない議論、実空間での発言の要約をサイバー空間上へ共有した議論の外部への拡大により実空間の実時間イベントを活性化できる。

「ベートーヴェンは凄い! 全交響曲連続演奏会 2010」では、プライマリスペースにおいて 3D 映像やサラウンド音声、高サンプリングレート音声等、多様なメディアエレメントを用いて、実空

間からサイバー空間を統合するアプローチにより演奏会場のローカルコミュニケーションである演奏をサイバー空間上の多くの参加者で共有した。演奏会場の定員による制約や演奏会場から遠い地域や海外からの参加可能となった。

実空間における演奏をサイバー空間上で愉しむだけでなく、リエゾンスペースとして設定した Twitter ハッシュタグでは、多様なセマンティクスを持った参加者集団によりイベントへの期待感、議論や感想、コメント、拍手や歓声が、イベント前からイベント終了後まで継続的に共有された。多様なセマンティクスを持った参加者が、大晦日の日常生活の中で演奏を愉しみ、演奏終了後には拍手や歓声が発生し、演奏会への参加という一体感や参加感を得られた。

また、2007年に Mozilla Japan と共に実施した「Mozilla 24」は、世界に広がる Mozilla の活動と永続性を表現する 24 時間連続イベントである。本イベントでは、東京に 3 地点（三田、九段、渋谷）、パリ、サンフランシスコにそれぞれ 1 地点の実空間の会場を構築した。各会場で独立したイベントがローカルコミュニケーションで実施された。メインとなる東京会場（慶応大学三田キャンパス）を、パリやサンフランシスコ等に設置された、他の実空間会場へプライマリスペース上の双方向映像音声を用いて接続して、参加者間で各会場の様子を共有した。実空間を拡張して、他の会場の参加者とのコミュニケーションを用いてイベントを盛り上げ、また世界中の Mozilla 開発者の一体感や、時間の共有を体感させた。東京会場からは、プライマリスペースの片方向映像音声メディアエレメントを用いた動画配信もおこない、自宅等からサイバー空間での個人参加環境を提供した。自宅のデスクトップ環境から参加する個人参加者向けに Mozilla Japan は本環境にあわせ Firefox の灯 [36] を提供し特設 Web サイトにアクセスするサイバー空間もしくは会場参加者を世界地図上の灯として付録の図 D.1 に示すように表示し、特設 Web へのアクセスを視覚化した。これはリエゾンスペースのメディアエレメントの一種であり、イベントの参加者というセマンティクスでグルーピングした参加者を、画像上の赤い点（灯）として表現し世界中に分散する参加者との一体感を演出した。

7.1.5 サイバー空間から実空間を統合

CPARSE では、サイバー空間におけるコミュニケーションを前提に設計された実時間イベントを、実空間に拡張する形態も記述できる。本研究では、特定大学やキャンパスの教室への物理的な集合が困難な複数大学間での遠隔授業を、サイバー空間上で企画し、各大学の教室から授業に参加する遠隔授業を数多く実践した。これらのサイバー空間側から実空間を統合する実時間イベントでは、実空間の会場を持ち、ローカルコミュニケーションをおこなうことでイベントの目的となるコンテンツの質を高める効果を期待する。授業の例では、教員は授業の進め方等、同一実空間内にいる学生からの非言語情報によるフィードバックを授業進行に活用できる。また学生も、他の参加者の存在が緊張感や授業への集中を助ける [37]。

6 章で述べた先端 IT スペシャリスト育成プログラムにおける遠隔授業環境では、4 大学 5 キャンパスを接続する遠隔授業環境を構築した。物理的な距離の問題で日常的な行き来が難しい他キャンパスや、他大学との授業共有や合同カリキュラム実現のためサイバー空間上での授業共有が必須であった。授業を複数実空間で共有するプライマリスペースでは、教員の発言、板書、ジェスチャ、授業資料を双方向映像音声メディアエレメントと片方向映像メディアエレメントにより共有するだけでなく、視線の共有と会話時に視線が合致するよう実空間における什器の位置関係をオペレーションメタスペースで設計した。オペレーションメタスペースでは、教室間接続の自動化と 1 人のオペレータが、複数教室の状況を監視し、必要に応じてデバイスを制御できる省力化

7.2. サイバー空間と実空間の統合の意義

をおこなうコントローラを設計し実装した。CPARSEにより構築された授業環境がなければ、4大学5キャンパスでの授業共有とその継続的オペレーションは困難であった。

SOI Asia プロジェクトでは、14カ国28組織による連係をサイバー空間上での授業共有を前提に構築した。特に2011年11月に実施した、UNESCOのJakarta & CONNECT-Asiaという国際会議では、サイバー空間上での議論を企画したイベントに世界中から2,592人の参加者が実空間とサイバー空間から参加した。これは、最大のオンライン会議としてギネス記録の認定を受けている[38][39]。この取組も実空間の制約から解放されたサイバー空間で無ければ実現できないイベントに、ローカルコミュニケーション可能な実空間の会場を持たせることで、非言語のコミュニケーションにより議論が活性化したり、イベント内に楽器演奏等の余興を取り入れられるようになりイベントの品質が高まった。

7.1.6 新たな実時間イベントの発生

CPARSEによる実時間イベントでは、プライマリスペースやリエゾンスペースで共有される情報により新たな実時間イベントを生み出せる。これは元のイベントが実空間からサイバー空間に拡張した物でも、サイバー空間から実空間側に拡張された実時間イベントでも可能である。

クラシックコンサートの実証実験においては、サイバー空間に、高品質なメディアエレメントで共有される演奏を用いてパブリックビューイングイベントが開催された。元のイベントとは異なるセマンティクスの参加者が集まり、ローカルコミュニケーションを持ちながらイベントに参加している。

代表参加者のみの会場と、サイバー空間上の卒業生により実現した2010年度の慶應義塾大学における卒業式代替イベントでは、実証実験で述べたように(1)実空間でのパブリックビューイングイベントの発生、(2)Web上にまとめサイトの出現、(3)イベント後の教員と卒業生の集合が発生した。こうした本来の実時間イベント外での参加者間コミュニケーションは、オートノマススペースにおいて発生する。したがってオペレータやコントローラから監視や制御できない。しかしキーワード検索等により存在の一部を確認でき、オペレーション上必要な情報を取得したり、参加者セマンティクスの内状の把握に用いられる。

7.2 サイバー空間と実空間の統合の意義

サイバー空間と実空間の統合により、実時間イベントへの参加形態が多様化した。本研究では3章で述べたとおり、実時間イベントへの参加者の多様な参加形態をプライマリスペース、リエゾンスペース、オートノマススペースの利用状況を記述した。多様な参加形態の参加者により実現する実時間イベントは、実証実験で述べた通りである。

表7.1に本研究による実時間イベントへの参加と、実空間のみでの参加、サイバー空間のみでの参加の比較を示す。サイバー空間と実空間を統合した本研究では、それぞれの参加形態が持つ特徴を併せ持つ。

サイバー空間と実空間が統合された実時間イベントでは、参加者は多様な参加形態でイベントに参加できる。これは会場との距離や収容人数等の物理的な制約から実時間イベントを解放し、実空間のローカルコミュニケーションへ異なる多様なセマンティクスの参加者を遠隔参加可能とした。また、ローカルコミュニケーション時にも、サイバー空間と実空間が同時に存在する。リエゾンスペースやオートノマススペースにおける実空間と並行した議論やコメントの共有により実

表 7.1: 既存実時間イベント手段と本研究の比較

	実空間	サイバー空間	本研究
対面でのインタラクティブ性	○	×	○
多様な参加形態 (時間)	×	○	○
多様な参加形態 (場所)	×	○	○
多様な参加形態 (ネットワーク)	×	×	○
多様なセマンティクスグループの記述	×	△	○
オペレーションコスト	○	×	○
イベントの拡大	×		○

空間では不可能なコミュニケーションも可能となる。

実時間イベントのオペレーションにおいても、リエゾンスペース上での参加者間コミュニケーションが可視化され、オペレーションに活用可能となると共に、事後の分析も可能とした。

7.3 実時間イベントにおける CPARSE の活用

本研究の成果は、様々な実時間イベントにおいて応用可能である。CPARSE を用いた実時間イベントの実践では、以下に述べる点を考慮し、実時間イベントを設計することで、サイバー空間と実空間が統合されたコミュニケーション環境を活性化し、実時間イベントをより有効に活用できる。

7.3.1 多様な参加形態

CPARSE では、多種多様なメディアを要素毎に整理して、各スペースにおけるメディアエレメントとして記述することで、日々進化する要素技術に非依存とした。画質や音質の向上等を実現する新たな要素技術が今後出現しても CPARSE 上に記述できる。

本研究中にも、参加者が実時間イベント参加に利用するデバイスは、デスクトップ PC やノート PC からスマートフォンやタブレット端末へと広まったり、3D 対応テレビやリビングのサラウンドシステムとの関係も可能となった。本研究では、イベントの目的や規模に応じて参加者の参加形態を設計してきた。特に4章で取り上げたクラシックコンサートでは、複数の異なるフォーマットを持つメディアエレメントにより、3D 映像、5.1ch サラウンド音声、2ch 高サンプリングレート音声等によりクラシックコンサートの演奏を伝達できた。また付録 E に示す複数視点での介護実習のように、目的に応じたメディアエレメントも開発した。

実時間イベントの目的や規模に応じて、プライマリスペースで共有する情報の決定、共有する情報の特性を活かす複数のメディアエレメントの選択は実時間イベントの設計において重要である。

7.3.2 参加者の多様性

4章で述べたクラシックコンサートの大規模共有、5章で述べた学校行事への遠隔参加では、多くの参加者が実時間イベントに参加し、その参加者が多様性を持った集団であったことがイベント

7.3. 実時間イベントにおける CPARSE の活用

の成功に影響した。実時間イベントをサイバー空間に拡張することで、教室や会場内といった実空間の集団より、サイバー空間では多様性を持った参加者集団による実時間イベントが実現する。多様性を持った参加者集団による実時間イベントでは、4章で述べたように本来実空間に集まって実時間イベントに参加しなければならない場合でも、サイバー空間上で家事や仕事をしながらや移動しながら等様々なセマンティクスグループに属する参加者の参加を実現した。

CPARSE を用いた実時間イベントでは、芸術・文化イベント等目的によってはイベント参加者の多様性を高められる実時間イベントを設計することが望ましい。

7.3.3 リエゾンスペースの活用

リエゾンスペースでの参加者間コミュニケーションを活用できた場合、実時間イベントの活性化に大きな影響を与える。本研究では、リエゾンスペースにおけるコミュニケーションを成功させるための指針として、「明確な目的やトピック設定」を推奨する。

5章で述べた学校行事への遠隔参加では、イベント中の参加者の雑談やコメント、発言の要約が自然に共有された。しかし、主催者側もしくは一部の参加者により、「卒業生へのお祝いメッセージ」、「会場からの修了者読み上げとそれに対応する返答」、「晴着を着た自分の写真の共有」等トピックが設定されることでトピックに関連するツイートが集まり、イベント内のコミュニケーションが活性化した。よってリエゾンスペースの設計時には、その目的やトピック設定をおこない参加者間のコミュニケーションが活発化する仕組みを構築することが重要である。

7.3.4 オートノマススペースの存在

CPARSE では、オートノマススペースにおけるコミュニケーションを定義したことで、実時間イベント中にイベント内外で発生する参加者のコミュニケーションを網羅した。

参加者の持つデバイスやモバイルネットワークの発展によって、同一実空間内に閉じたローカルコミュニケーションにおける実時間イベントであっても、オートノマススペースにおけるコミュニケーションは無視できない。コンサートホールでの演奏中や、試験等のローカルコミュニケーション以外のコミュニケーションを禁じた空間以外では、オートノマススペースでの何らかのコミュニケーションの存在を認識した実時間イベントの運営を推奨する。

7.3.5 オペレーションメタスペース

オペレーションメタスペースのコントローラは、ローカルスペース、プライマリスペース、リエゾンスペースにおける参加者間コミュニケーションの監視や実際のデバイス制御等をおこなう。CPARSE では複数のローカルスペースに分散するオペレータをコントローラとして抽象化する事により、実時間イベント全体の監視と制御をおこなった。

実時間イベント中のオペレーションには、各スペースにおけるコミュニケーション状況の監視が必須である。機器動作状況の監視ではなく、実空間の参加者がディスプレイに表示される映像、スピーカーから再生される音声等アクチュエータにより実空間にフィードバックされたコンテンツデータが正しく参加者に共有されることを確認しなければならない。こうした監視とオペレータ間の情報共有により、トラブル時には複数実空間に分散するオペレータが協調してトラブルシューティングをおこなえる。

2014年時点では、ローカルコミュニケーションにおける話者の交代時に、カメラを切り替える等のオペレーション全体の自動化はできない。また、4章や5章で述べたように、高品質なコンテンツデータを共有するために、テレビ放送品質の撮影や編集をおこなうこともある。こうした観点から本研究では、オペレーションメタスペースにおける複数実空間に分散するオペレータ間のコミュニケーション手段を用いた連係体制を推奨する。

7.4 本研究の成果と結論

本研究では、サイバー空間と実空間の統合による実時間イベントアーキテクチャCPARSEを提案し、様々な実時間イベントにおいて適用した実証実験を通しその有効性を検証した。本研究により以下の成果が得られ、2章において本研究で解決する課題として挙げた(1)コミュニケーション品質、(2)参加者のグルーピング、(3)オペレーションコストの課題を解決できた。

- 実時間イベントにおけるコミュニケーション品質の向上
- 実時間イベント参加者のグルーピングの実現
- 自動化や省力化可能な実時間イベントのオペレーション

CPARSEによる実時間イベントでは、複数メディアエレメントの集合によって、新たなメディアを参加者が自由に構成できる環境を実現した。また、実時間イベントの目的や規模に応じて、多様な参加形態を想定し、各参加形態毎に適切なメディアエレメントを用意することで多様な実時間イベントにおいて本アーキテクチャが適用できた。プライマリスペースでは、同一の情報を複数フォーマットで共有することで、インターネット接続環境や、参加者の利用デバイスの差異に応じてメディアエレメントの選択を可能にした。リエゾンスペースとオートノマススペースでは、リアルタイム性の高いソーシャルメディアの一部の機能を用いたメディアエレメントが主にもちいられた。従来、片方向の放送メディアが用いられていた傍聴型の実時間イベントへ、リエゾンスペースやオートノマススペースを組み込み、双方向のコミュニケーションによる能動的参加を明確に管理運用することによって実現した。実時間イベントの能動的な参加を利用して、クラシックコンサートの大規模な共有や、学校行事への遠隔参加の実証実験では、リエゾンスペースを用いたローカルスペースに存在しない新たなコミュニケーションの想像を実現した。

CPARSEでは、リエゾンスペースのメディアエレメント内で、サイバー空間と実空間に分散する参加者のグルーピングを実現した。イベント参加者全体のセマンティクスだけでなく、属性や趣味嗜好、もしくはSNSで表現される社会的繋がりによるセマンティクスでグルーピングし、グループ内での参加者間コミュニケーションを実現した。また、参加者間のコミュニケーション支援だけでなく、オペレーションや参加者間のコミュニティ形成に必要な参加者間のセマンティクス内状把握のデータベースとしてもリエゾンスペースを活用した。オートノマススペースにおいて参加者が知人や友人を独自にグルーピングしたコミュニケーションもCPARSE上に記述できる。

プライマリスペースにおいて、参加者の参加形態に応じたメディアエレメントの選択、リエゾンスペースにおける参加者セマンティクスによるグループの形成と、このグループにおける実空間でのコミュニケーションと独立した新たな情報共有を可能としたことにより、本研究における課題のうち(1)コミュニケーション品質と(2)参加者のグルーピングが解決した。

CPARSEでは、本研究における運用経験の蓄積、その課題の解析、そして課題の抽象化と汎用

7.5. 今後の課題

の解決手法による実時間イベントのオペレーションを確立した。イベント全体の流れ、前後の準備とイベント終了後の事後参加等の多様な参加形態全体に蓄積された経験を、サイバーフィジカルシステムによりモデル化されたオペレーションメタスペース内での定義に基づいた記述をおこなうことで、実時間イベントのオペレーションの体系化を実現した。本研究では、この成果に基づき6章で述べた遠隔授業環境では、オペレーションの一部自動化や省力化を実現しており、(3)高いオペレーションコストに関する課題も解決した。

以上の成果により、付録Aに示す多数の実時間イベントが実現しており、本研究の提案したアーキテクチャの有用性を実時間イベントにおいて実証できた。

7.5 今後の課題

本節では、本研究における今後の課題を整理する。

7.5.1 オペレーションの自動化

本研究では、オペレーションメタスペースにおいて、オペレータとコントローラを定義しサイバーフィジカルシステムとしてモデル化した、センサ、プロセッサ、アクチュエータの制御と監視をおこなった。4章のクラシックコンサートや5章の学校行事への遠隔参加実証実験では、コントローラによる制御や監視は、コントローラを構成するオペレータによる拠点間での情報共有や指示の伝達にとどまった。6章の先端ITスペシャリスト育成プログラムにおける実証実験では、教室間のビデオ会議システムの接続を自動化し、教室AV機器制御をプリセットによる半自動化と遠隔操作可能とする事でオペレーションコストを低減した。またプライマリスペースやリエゾンスペースの監視により実時間イベントのコンテキストを解析し、カメラの操作や切り替え等をオペレータがおこなった。

今後実空間におけるセンサー技術等、要素技術の進歩により、実空間におけるイベント参加者の存在と指名のマッチング、挙手などの意思表示のセンシングが可能になれば、それをトリガーとした機器制御などさらなる自動化の余地がある。コントローラの自動化や省力化が進むことは、複数実空間を接続する実時間イベントに必要な人的、金銭的なコストの低減につながる。低コスト化によりより小規模なものから、大規模なイベントまで多様なシーンへCPARSEを応用可能になる。

7.5.2 リエゾンスペースから実空間へのフィードバック

5章で取り上げたSFC卒業式(大学院)では、プライマリスペースで片方向のインターネット動画配信をメディアエレメントとして用いた。この中でリエゾンスペースで共有された参加者の発言の一部を、会場のローカルコミュニケーションへフィードバックし、会場と遠隔参加者間でインタラクティブな遠隔学位記授与が実施された。しかし全遠隔参加者がTwitterやFacebook等のリエゾンスペースに用いられるソーシャルメディアを利用するわけではない。実証実験においても実時間イベント中に何らかの発言をした参加者は、視聴者数全体から見ると少数派である。またソーシャルメディアを利用してもプライバシー設定により他の参加者に共有されずリエゾンスペースではなくオートノマススペースのみでコミュニケーションをおこなうこともある。

事前の登録や認証の不要なシステムを実時間イベント毎に開発し、リエゾンスペースで利用す

ることも技術的に可能だが、ソーシャルメディアの持つ実時間イベント外での繋がりへの拡散、実時間イベント前後の時間区分での利用などメリットが失われる。

実時間イベント利用者のソーシャルメディアへの誘導と実時間イベント中の利用促進、また、実空間の参加者へソーシャルメディアスペース上のコミュニケーションをフィードバックする手法は今後の課題である。

7.5.3 スケーラビリティ

リエゾンスペースにおける発言者数が、プライマリスペースにおける視聴者数と比較し少数である問題は前述の通りである。しかし、リエゾンスペースで用いられる文字によるコミュニケーションもプライマリスペースで用いられる映像や音声にも、スケーラビリティの問題がある。1人の人間は、同時に1つの会話しかおこなえない。プライマリスペースのメディアエレメントを用いて双方向の映像音声による会話を数百拠点と同時におこなうことは不可能である。文字によるチャットや、掲示板の書き込み、twitterのタイムラインでは複数の会話や発言が同時に表示されてもある程度追従できる。しかし、演奏会の実証実験では、演奏終了後には毎分数百ツイートが集中した。拍手や歓声など個別のメッセージが持つ意味よりも、多くのメッセージの集中に参加者が一体感を感じられた。しかし、リエゾンスペースの利用者数が増加する場合、特にテレビ放送並の視聴者数が存在した場合、実証実験におけるソーシャルメディアスペースの利用者数と同じ割合での利用であっても桁違いのメッセージがソーシャルメディアスペースで流通する。すでに人気アーティストのライブや、テレビ放送に並行して存在するハッシュタグでは、同様の現象が起こっており発言の集約や表現方法の検討が必要である。

全ての視聴者が容易に利用でき、スケーラビリティの問題を解決できれば、テレビ放送を活用した新たなエンターテイメントや災害時における視聴者間での情報交換への応用が実現できる。

7.5.4 本研究の応用

本研究では、サイバー空間と実空間を統合した環境におけるコミュニケーション環境により、授業、会議、コンサート、式典といった多様な実時間イベントを実現した。今後の応用例として分散環境における産学連携の研究プロジェクトの実現を挙げる。

文部科学省を始めとし我が国における産学連携の研究プロジェクトでは、「Under One Roof(一つ屋根の下)」というキーワードに代表されるように同一施設内に多数の研究者を集約し、実験設備を集中して整備するアプローチに注目が集まっている。これはローカルスペースにおける研究者間の密接なコミュニケーションが可能である。一方で、特定の研究施設に集合しなければならぬため地理的な制約を受けやすく、企業や地方の大学を含めた多数の組織間の連携を難しくする。

本研究の成果を活用し、サイバー空間と実空間を統合したコミュニケーション空間による「Virtual Under One Roof」による、複数大学や企業の拠点間を接続した産学連携研究プロジェクトの実現を目指す。ローカルスペースでの研究拠点内での議論や実験だけでなく、プライマリスペースを活用した拠点間での議論や交流、遠隔地の実験装置の稼働状況の共有や、将来的には遠隔操作による遠隔の実験機器の共有による研究の推進と、リエゾンスペースを用いた同期非同期での研究者間コミュニケーションによる、サイバー空間と実空間が統合された仮想的な研究拠点の構築等、本アーキテクチャの可能性はまだまだ大きいと考えている。

謝辞

2000年の学部入学以来長きにわたり御指導いただき、またご多忙の中本研究にも多くの御助言と励ましをいただきました。慶應義塾大学環境情報学部 村井純教授に心より感謝いたします。また、先端ITスペシャリスト育成プログラムにおける遠隔授業環境の構築に携わる機会と、本研究をまとめる上で御指導いただきました。環境情報学部 徳田英幸教授に深く感謝いたします。本研究を構成する多くのプロジェクトにおいて、多くの御助言をいただき、また本論文の執筆時にも多くの御指導をいただいた。環境情報学部 中村修教授に深く感謝いたします。SFCへ入学するきっかけとなったSOI WGにおける遠隔授業プロジェクトを立ち上げ、その後もSOI Asia, SFC-GCの立ち上げ等様々な場面で共に活動する中で多くのことを学ばせていただいた。慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 大川恵子教授に深く感謝いたします。

主査、副査の皆様からは、学部から足掛け14年にわたりSFC、慶應義塾、WIDE Projectにおける最前線での刺激的活動に参加する機会をいただきました。また数々の御助言あつての本研究であり、多くの経験をさせていただき成長させていただきました。改めて感謝申し上げます。

公私を問わず絶えず的確な御助言と御指導をいただきました。重近範行博士に深く感謝いたします。SFCを離れた後も私の学位取得や今後の人生について気にかけていただき、時には厳しい御助言をしていただいたことは、何事にも代えがたい財産となっています。

学部時代から多くのプロジェクトへ共に参加しSFCで最も長い時間を共に過ごした慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科 堀場勝広氏に感謝いたします。本研究でも共に実現した多くのプロジェクトの成果が活かされております。

本研究のに取り組む原点となった遠隔授業との出会いを提供してくれた慶應義塾大学村井研究室 SOI グループ並びに WIDE Project SOI WG の関係者の皆様に感謝致します。特に学部でのスタートアップ時に支えて頂いた村上陽子博士、小川浩司氏、室井比宏氏、鳥谷部康晴氏、には改めて感謝いたします。2000年から現在に至るまで、そしてこれからも本研究の心臓部、原点とも言える遠隔授業環境の構築、オペレーションを共に担当してきた株式会社スクールオンインターネット研究所 渋谷雪絵氏に深く感謝致します。慶應義塾大学総合政策学部 國領二郎教授には、ある時は遠隔授業環境のユーザーとして多くのフィードバックを頂き、またある時はキャンパス内ですれ違う度に執筆の遅い筆者を励ましていただき感謝いたします。

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 杉浦一徳准教授にも節目節目で多くのアドバイスをいただきました。また研究の進捗その他多くのご心配をおかけしました。数多くのプロジェクトで一緒させていただきましたが、KMD 誕生にむけて微力ながらお手伝いできた事で多くの経験が得られました。感謝致します。

多くのチャレンジの場となった Global Studio プロジェクトでは、2002年のSOI Global Studio 開設から現在まで、数多くの授業やイベントにおいて技術ならびに人的にご支援下さった WIDE Project、慶應義塾大学デジタルメディアコンテンツ統合研究機構（現 DMC 研究センター）、清華大学、延世大学、Stanford 大学、Columbia 大学の関係者、またその他数多くの諸氏に感謝致します。特に慶應義塾大学理工学部 安西祐一郎名誉教授には、2008年度通信教育部入学式における

塾長式辞をイギリスから遠隔実施していただく等 Global Studio 環境をご利用いただきました。また、慶應義塾 150 年式典等多くの活躍の場をいただきました。深く感謝いたします。また DMC における活動をサポートしていただいた、慶應義塾塾監局参事 大賀裕氏には、異動後もご心配をおかけし御助言いただきました。深く感謝致します。

ロリン・マゼール氏、三枝成章氏には、本論文 4 章で取り上げた実証実験の機会をいただきました。実証実験では、多くのデータと新たな知見が得られ研究を進めていく上での転換点となりました。深く感謝致します。

慶應義塾塾長 清家篤氏には、東日本大震災時の 2010 年度卒業式の代替イベントをインターネット上で開催する英断をしていただきました。塾長の決断がなければ実現しなかった歴史的式典の実施をご決断いただいたことに深く感謝いたします。また 2010 年度卒業の諸氏には、卒業式の中止という大変に残念な事態にもかかわらず本研究で構築した環境を十二分にお楽しみいただきました。当時のデータより多くの知見が得られまた本研究の成果を立証する重要なエビデンスとなっております。25 年後の卒業式に皆様が改めて集合し 2010 年の代替イベントについて話題にしていただければ幸いです。

Mozilla Japan の皆様には、代表理事の瀧田佐登子氏をはじめ多くの励ましの言葉を頂きました。また、Mozilla 24、先端 IT スペシャリスト育成プログラム、Mozilla Vision 等本研究において重要な役割を果たしたイベントにおいて多くのご支援と機会を頂きました。そして 2013 年からは共にチャレンジする仲間として迎えていただきました。当初スケジュールより大幅に遅延した状況においても忍耐強くお待ちいただき深く感謝しております。

慶應義塾大学村井研究室の諸氏とは、長い SFC 生活を共に過ごし、本研究の実証実験へのご支援やアドバイスを多数いただきました。刺激的な時間を共に過ごせたことは大事な財産です。ここに改めて感謝いたします。また長期にわたる研究活動を影ながら支えていただいた、村井研究室の秘書の皆様へ感謝いたします。

他にも本論文執筆にあたり、大勢の皆様から励ましのお言葉をいただきましたことに深く感謝いたします。

最後に長期にわたる研究生活を忍耐強く支えてくれた、父 工藤武重 母 工藤孝子に感謝の意を捧げます。

参考文献

- [1] 財団法人インターネット協会インターネット白書 2012, インプレスジャパン (2012).
- [2] シスコシステムズ合同会社 Cisco Visual Networking Index 2012年から2017年の5年間に世界のモバイルインターネットデータトラフィックが13倍増と予測, シスコシステムズ合同会社 (オンライン), <http://www.cisco.com/web/JP/news/pr/2013/004.html> 2013.
- [3] シスコシステムズ合同会社 Cisco Visual Networking Index:予測と方法論,2011~2016年, シスコシステムズ合同会社 (オンライン), http://www.cisco.com/web/JP/solution/isp/ipngn/literature/white_paper_c11-481360.html 2012.
- [4] 喜連川優情報爆発のこれまでとこれから (小特集情報爆発が創り出すサイバーフィジカルな情報処理), 電子情報通信学会誌, Vol. 94, No. 8, pp. 662-666 (2011).
- [5] ウェザーニューズゲリラ雷雨防衛隊 2012, ウェザーニューズ (オンライン), <http://weathernews.jp/door/html/guerrilla2012/> 2012.
- [6] 株式会社シードプランニング 2012 ビデオ会議/Web会議の最新市場動向, 市場調査レポート 1, 株式会社シードプランニング, 東京都文京区湯島 3-19-11 (2012).
- [7] tanimoto @ impress.co.jp 小澤征爾/サイトウ・キネン・オーケストラ特別公演中継 クラシックコンサートのインターネット生中継が予期させるブロードバンド時代, Impress Internet Watch (オンライン), <http://internet.watch.impress.co.jp/www/article/2001/0105/ozawa.htm> 2001.
- [8] ベルリンフィルベルリン・フィルデジタルコンサートホール, ベルリンフィル (オンライン), <http://www.digitalconcerthall.com/ja/> 2013.
- [9] UstreamAsia 株式会社 Ustream Asia、宇多田ヒカルのコンサート「WILD LIFE」公演で過去最大のユニーク視聴者数を記録!, Ustream Asia 株式会社 (オンライン), http://ustream-asia.tv/news_20101210.html 2010.
- [10] MTM: Digital Audiences: Engagement with arts and culture online, Digital innovation 1, Art Council,England, London (2010).
- [11] 西尾祥子パブリック・ビューイングを構成するものは何か: コンテンツ, 場所性, オーディエンス, 情報文化学会誌, Vol. 16, No. 1, pp. 86-92 (2009).
- [12] シスコシステムズ合同会社 CiscoTelePresence, シスコシステムズ合同会社 (online), <http://www.cisco.com/web/JP/product/hs/tp/> 2012.

- [13] ポリコムジャパン株式会社 HD テレプレゼンス/ビデオ会議, ポリコムジャパン株式会社 (オンライン), <http://www.polycom.co.jp/> 2012.
- [14] 育夫並木, 義隆目黒, 茂明青木, 一成入江, 知義野村, 一重斉藤高臨場感マルチメディア通信会議システムの構築と評価, 電子情報通信学会論文誌. B-I, 通信 I-情報通信システム・理論, Vol. 80, No. 6, pp. 338–347 (オンライン), <http://ci.nii.ac.jp/naid/110003277257/> (1997).
- [15] シスコシステム合同会社 Cisco TelePresence TX9000 データシート, シスコシステム合同会社 (オンライン), http://www.cisco.com/web/JP/product/hs/tp/tp9000/prodlit/data_sheet_c78-702104.html 2013.
- [16] プリンストンテクノロジー株式会社製品カタログ Polycom RPX HD Series, プリンストンテクノロジー株式会社 (オンライン), http://www.princeton.co.jp/polycom/download/DL_FILES/catalog/RPX.pdf 2013.
- [17] japan.internet.com 編集部 Twitter、「バルス」で秒間 14 万 3,199 ツイート、2013 年の「あけおめ」を引き離し首位奪還, インターネットコム (オンライン), %, <http://japan.internet.com/webtech/20130805/1.html> 2013 年.
- [18] 重近範行, 中村修, 村井純臨場感の共有によるイベント参加支援: Outband Communication System: Gaya(<特集>インターネットアーキテクチャ技術論文特集), 電子情報通信学会論文誌. B, 通信, Vol. 30, No. 6, pp. 1234–1232 (2002).
- [19] ニコニコ生放送ニコニコ生放送とは, ドワンゴ (オンライン), <http://faq.nicovideo.jp/> 2012.
- [20] 工藤紀篤, 村上陽子, 小川浩司インターネット遠隔授業中継における参加者間 interaction 支援システムの構築 (インターネットコンファレンス 2003 論文集), インターネットコンファレンス論文集, Vol. 2003, pp. 97–104 (2003).
- [21] Japan, G.: Our Mobile Planet: 日本モバイルユーザーの実体, Google (オンライン), http://services.google.com/fh/files/blogs/our_mobile_planet_japan_ja.pdf 2012 年 5 月.
- [22] おざーん twitter の「なう」の意味と使い方 (2012 年 7 月更新), 株式会社 nanapi (オンライン), <http://nanapi.jp/258/> 2013.
- [23] はてなキーワード tsuda る, はてな (オンライン), <http://d.hatena.ne.jp/keyword/tsuda%A4%EB> 2013 年 2 月.
- [24] Lee, E. A.: Cyber Physical Systems: Design Challenges, Technical Report UCB/EECS-2008-8, EECS Department, University of California, Berkeley (2008).
- [25] 小木哲朗ベートーベン・クラシックコンサートの伝送実験, テレイマージョン技術研究会 (オンライン), <http://lab.sdm.keio.ac.jp/ogi/papers/SIGTTS2011.pdf> 2011.
- [26] ガーターマゼールの大晦日ベートーヴェンマラソン, ガーター亭別館 (オンライン), <http://fal2.way-nifty.com/garter/2011/01/post-1c43.html> 2013.

- [27] 丹羽直美不良人妻なおみの今夜も朝帰り 2011年1月14日, 中日新聞 (オンライン), <http://opi-rina.chunichi.co.jp/naomi/2011/01/14/008371.html> 2013.
- [28] りーたろうベートーヴェンも凄いがマゼールも凄い (1), Yahooブログ: りーたろう・の・うさぎ穴 (オンライン), http://blogs.yahoo.co.jp/ri_ri_0503/32778100.html 2013.
- [29] 気象庁地震火山部地震予知情報課「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」について(第63報), 気象庁 (オンライン), <http://www.jma.go.jp/jma/press/1203/08b/kaisetsu201203081600.pdf> 2013.
- [30] 共同通信社遺族が九段会館の事故で告訴「耐震措置怠った」, 47NEWS (オンライン), <http://www.47news.jp/CN/201105/CN2011051201000962.html> 2013.
- [31] HORIBA, K., OKAWA, K. and MURAI, J.: Large-Scale Cooperative Dissemination of Governmental Information in Emergency : An Experiment and Future Strategies, *IEICE transactions on communications*, Vol. 95, No. 7, pp. 2191–2199 (2012).
- [32] みずき【SFC卒業する人へ】23日、SFCで卒業式上映会を勝手にやります, Hatena::Diary: 猫が吠える (オンライン), <http://d.hatena.ne.jp/n0mzk/20110318/1300462064> 2013.
- [33] 慶應義塾大学 SFC-SFS, 慶應義塾大学 (online), <http://vu8.sfc.keio.ac.jp/sfc-sfs/> 2013年.
- [34] 工藤紀篤, 片岡広太郎, 大川恵子, 中村修, 村井純大学間連携を支える多地点接続型遠隔授業システムの構築, *KEIO SFC JOURNAL*, Vol. 11, No. 2, pp. 95–106 (2012).
- [35] Kudo, N., Kataoka, K. and Murai, J.: On Operational Scheme For Remote Lectures In Inter-University Distance Learning Project, *Proc. Intl. Conf. CSEDU*, pp. 249–257 (2011).
- [36] 赤塚大典「Firefoxの灯(ともしび)」技術の全貌～ウェブの最新技術が魅せる「Firefoxの灯」(1), Mozilla Japan (オンライン), <http://codezine.jp/article/detail/6087> 2013.
- [37] Kudo, N., Kataoka, K. and Murai, J.: On Operational Scheme for Remote Lectures in Inter-university Distance Learning Project, *CSEDU (2)* (Verbraeck, A., Helfert, M., Cordeiro, J. and Shishkov, B., eds.), SciTePress, pp. 249–257 (2011).
- [38] 砂原秀樹, 村井純 WIDE プロジェクトの25年: 日本とインターネットのこれまでとこれから, 情報管理, Vol. 56, No. 9, pp. 571–581 (2013).
- [39] UNESCO: CONNECTivity Event Update : Videos and Guinness World Record, UNESCO (オンライン), http://portal.unesco.org/geography/en/ev.php-URL_ID=15367&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html 2013-12-24.

付録A 実時間イベント一覧

本研究に関連する実時間イベントとその成果を以下に示す。
URLは2013年2月現在の物である。

- 2012年

- (2012-01) ヴィントンサーフ氏名誉博士授与式インターネット配信

- 慶應義塾大学において名誉博士号を取得したヴィントンサーフ氏への授与式と講演会をインターネット動画配信による遠隔参加を実現。

- http://www.keio.ac.jp/ja/press_release/2012/kr7a430000ayd47.html

- (2012-02) UNESCO SOI Asia CONNECTivityEvent

- UNESCOとSOI Asiaプロジェクトのコラボレーションによるシンポジウム.H.323 MCUの提供とMCUオペレーションを行いイベントの実現をサポート。

- <http://competence-program.asia/2012/03/114/connectivity-event/>

- (2012-03) SFC ORF インターネット配信

- 慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスが主催するORF (Open Research Forum) においてメインセッションのインターネット配信を2003年度より配信実験として協力。2012年度はマルチビットレートによる品質の異なる配信とソーシャルメディアとの融合を試みた。

- http://www.kri.sfc.keio.ac.jp/ja/orf/past_orf.html

- (2012-04) Panasonic HD コム ALM 機能実証実験 (導入事例へ掲載)

- 慶應義塾大学、京都大学、広島市立大学、大学コンソーシアム京都の4地点間での多地点講義においてPanasonic製ビデオ会議端末を用いたアプリケーションレイヤーマルチキャストによる遠隔講義の実証実験を実施。片方向メディアによる大規模配信と双方向メディアによる質疑応答を融合させた遠隔講義を実施。

- (2012-05) Mozilla Vision 2012

- Mozilla Japanが主催するカンファレンスのインターネット配信に技術協力。

- <http://www.mozilla.jp/events/vision/2012/>

- 2011年

- (2011-01) SFC3.11 プロジェクトシンポジウム<日本経済の再設計・震災を超えて>

- 慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスが主催したシンポジウムのインターネット配信に技術協力。会場からのインターネット動画配信時のソーシャルメディアで遠隔参加者からの質問やコメントを収集、会場内の主催者側スタッフがソーシャルメディアで遠隔参加者への情報発信も実施。

– <http://keioqer.wordpress.com/2011/07/03/460/>

(2011-02) 第 84 回日本整形外科学会学術総会開会式

東日本大震災により開催形式を変更し、インターネット上での動画配信により行われた学術総会の開会式を技術協力。(2011-03)の慶應義塾大学学部学位記授与式と同様に動画配信とソーシャルメディアを組み合わせた配信を実施。

– http://www.joa.or.jp/jp/topics/2011/topics_110322_annual_meeting.html

– <http://medical.nikkeibp.co.jp/leaf/mem/pub/report/201104/519420.html>

(2011-03) 慶應義塾大学学部卒業式，大学院学位記授与式インターネット配信

東日本大震災により中止となった卒業式の代替イベント。本論文の 5.2 節における実証実験を行った。SFC 卒業式(学部)，SFC 卒業式(大学院)を同時に実施。

– <http://www.keio.ac.jp/ja/news/2010/kr7a43000005eo1u.html>

– <http://live.wide.ad.jp/>

(2011-04) ネットウェル社導入事例における紹介

SFC20 周年式典，慶應義塾大学学部学位記授与式のインターネット配信などが掲載される。

– <http://www.netwell.co.jp/video/case/osprey-700ehd-002.html>

(2011-05) 日本建築学会国際シンポジウム ALGODE2011

東日本大震災により 3 月の開催が 11 月に延期された日本建築学会の国際シンポジウムをインターネット動画配信による遠隔参加と，ビデオ会議による遠隔発表を組合せて実現。最大 3 セッションを同時中継し遠隔参加者からの質問を会場で代読するなどサイバー空間での参加と実空間での参加を統合した。

– <http://news-sv.aij.or.jp/algode/>

● 2010 年

(2010-01) ベートーヴェンは凄い！全交響曲連続演奏会 2012

大晦日に行われたクラシック音楽の演奏会への遠隔参加。高品質パブリックビューイングと 3D 映像や 5.1ch サラウンド音声を含む複数品質によるインターネット配信を実施。本論文 5.1 節における実証実験を実施。

– http://av.watch.impress.co.jp/docs/series/avt/20110105_417998.html

– <http://www.geekpage.jp/blog/?id=2010/12/30/1>

– <http://www.wide.ad.jp/project/document/reports/pdf2010/index.htm>

(2010-02) 慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス (SFC)20 周年記念式典

SFC 開設 20 周年式典への遠隔参加をインターネット動画配信とソーシャルメディアにより技術支援。HD 解像度 (720p 相当) での動画配信を実施。

– http://www.keio.ac.jp/ja/press_release/2009/kr7a43000002kdsc.html

– <http://sfccclip.net/news2010040901>

(2010-03)SFC-GC ストレージ更新

慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスにおける講義アーカイブ配信をおこなう SFC GC(Global Campus) 用のストレージ更新にあたり設計と構築を担当。DELL 社の導入事例に掲載。

- http://www.dell.com/downloads/jp/solutions/casestudy/dell_keio_1001.pdf

(2010-04) 先端 IT スペシャリスト育成プログラム評価

本論文 5.3 節において取り上げた、4 大学 5 キャンパスの連携による多地点遠隔講義環境を用いた大学間連携による人材育成に遠隔講義環境の構築運用担当として参加。

- http://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/it/h23/1305477.htm

(2010-05) Japan Society : プレイリーディング (長瀬愛)

アメリカニューヨークと東京（慶應大学三田キャンパス）をビデオ会議システムにより接続して著者がリハーサルに参加。遠隔から役者と台本の読み込みなど演技指導を行った。本番終了後、ニューヨークの観客と東京の著者間で質疑応答セッションも実施した。またその様子をイリノイ大学においてパブリックビューイングを行った。

- http://www.japansociety.org/event_detail?eid=42d70835

(2010-06) Japan Society: プレイリーディング (鴻上尚史)

アメリカニューヨークと東京（慶應大学三田キャンパス）をビデオ会議システムにより接続して著者がリハーサルに参加。遠隔から役者と台本の読み込みなど演技指導を行った。本番終了後、ニューヨークの観客と東京の著者間で質疑応答セッションも実施した。またその様子をイリノイ大学においてパブリックビューイングを行った。

- http://www.japansociety.org/event_detail?eid=49abc439

● 2009 年

(2009-01) 慶應義塾大学 150 年記念イベント：皆既日食中継 硫黄島で撮影された皆既日食映像を東京大手町のデータセンタ内にて受信し日吉キャンパスで行われたパブリックビューイング会場などへ再配信する際技術協力を行った。

- <http://www.wide.ad.jp/project/document/reports/pdf2009/index.htm>
- <http://www.keio.ac.jp/ja/news/2009/kr7a4300001hizq.html>

(2009-02) メコンフェスティバル 2009

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科に協力し複数実空間での音楽共有を行った Music PLAZA, 演劇 (農業少女) をチュラロンコン大学 (タイ) ヘインターネット配信した。

- <http://www.wide.ad.jp/project/document/reports/pdf2009/index.htm>

(2009-03) DMC 機構：平成 21 年度科学技術振興調整費 評価結果報告書

慶應義塾大学 DMC 機構においてグローバルスタジオプロジェクトを担当し、国際シンポジウムや研究者交流を実現するビデオ会議能力を持つ海外拠点を日米韓中英の各国に構築した。本報告書では DMC 機構における取り組みが A 評価を得て、海外拠点における取り組みが評価された。

- <http://www.jst.go.jp/shincho/21hyouka/04senryaku21.pdf>

(2009-04) 日立電線ネットワークス導入事例への掲載

先端 IT スペシャリスト育成プログラムで構築した 4 大学 5 キャンパスにおける多地点遠隔講義が日立電線ネットワークスの導入事例集に掲載された。

– http://www.hitachi-cnet.com/case/edu/200903_keio.html

(2009-05)Internet2 Meeting 発表

慶應義塾大学DMC機構におけるグローバルスタジオプロジェクトの活動内容を Internet 2 プロジェクトのメンバーミーティングにおいて発表.

● **(2008-01)Firefox developers conference 2008**

Mozilla Japan が主催した Firefox 開発者向けカンファレンスの収録とビデオアーカイブの公開を支援

– <http://www.mozilla.jp/events/devcon/2008/>

(2008-02)DMC 国際シンポジウムデジタル知の恒久的な保存と活用に向けて

グローバルスタジオを用い海外拠点からのゲストによる講演を実現.

– <http://note.dmc.keio.ac.jp/topics/archives/455>

(2008-03) 先端 IT スペシャリスト育成プログラム多地点遠隔講義環境の構築

本論文 5.3 節で述べた多地点遠隔講義

(2008-04) 慶應義塾大学 UNESCO 協力協定 SOI Asia サミットカンファレンス

– <http://www.keio.ac.jp/ja/news/2008/kr7a43000000b7a9.html>

(2008-05) 慶應義塾創立 150 年記念式典

慶應義塾創立 150 年記念式典においてメイン会場の日吉キャンパスと三田, 湘南藤沢の各キャンパスの接続, 大阪会場との双方向接続を担当. 一般向けインターネット配信に関して映像分配などを担当した.

– <http://www.keio.ac.jp/ja/news/2008/kr7a43000000htzp.html>

– <http://www.keio.ac.jp/ja/news/2008/kr7a43000000k36d.html>

(2008-06) 慶應義塾創立 150 年記念星出彰彦氏講演会

日吉キャンパス協生館で行われた星出彰彦氏の講演会を SOI Asia パートナーへ配信した.

– <http://www.keio.ac.jp/ja/news/2008/kr7a43000000h2i7.html>

(2008-07) 慶應義塾創立 150 年記念アルゴア氏来日特別講演会

日吉キャンパス協生館で行われたアルゴア氏の講演会とパネルディスカッションへの遠隔参加をニューヨーク (コロンビア大学内) グローバルスタジオと日吉キャンパスを接続し実現.

– <http://www.keio.ac.jp/ja/news/2008/kr7a43000000kclz.html>

(2008-08)NY 学院 日米共同バイリンガルサマーキャンプ

慶應義塾 NY 学院がおこなったバイリンガル環境のサマーキャンプにテレビ会議により日本 (三田キャンパス) から塾長挨拶, コンテンツ業界のゲストスピーカー等の講義を実施した.

– http://www.keio.ac.jp/ja/press_release/2008/kr7a430000008j34.html

– <http://www.keio.edu/summerprogram/j01.html>

(2008-09)Japan Society:連合赤軍上映会

ニューヨーク Japan Society での上映会後に日本 (三田キャンパス) の若松監督とニューヨークの観客でトークセッションを実現。ビザの関係でアメリカに入国出来ない特殊な状況下でもイベントを実現。

- http://www.japansociety.org/event_detail?eid=2e74a760
- <http://homepage3.nifty.com/manazasi/page096.html>

(2008-10)Japan Society:男はつらいよ上映会

ニューヨーク Japan Society での上映会後に日本 (三田キャンパス) の山田監督とニューヨークの観客でトークセッションを実現。多忙な監督が移動することなく低コストにイベントへ出席できた。

- <http://www.tora-san.jp/blog/2008/10/>

● 2007 年

(2007-01)NHK Cool Japan スペシャル@慶應義塾大学

NHK のテレビ番組においてアメリカとイギリスに設置されたグローバルスタジオを接続し日本から海外に留学中の学生と日本に留学中の留学生によるディスカッションを実現。

- <http://note.dmc.keio.ac.jp/topics/archives/206>

(2007-02) 日経デジタルコアブロードバンド環境の無い村で高品質テレビ会議東峰村の挑戦

福岡県東峰村、三田キャンパスグローバルスタジオ、福岡県庁の 3 拠点を接続したシンポジウムを開催。東峰村にはブロードバンド環境が無く回線の手配、ネットワークの構築、遠隔会議環境の構築を担当。

- http://digitalcore.info/post_106.html

(2007-03) 日中間での言語交換

中国北京の清華大学と慶應義塾大学における日本語学習者、中国語学習者による言語交換用にビデオ会議システムの設置や調整、中国での拠点確保などに参加。

(2007-04)Mozilla24

Mozilla Japan が中心となって実施した 24 時間連続イベントにおいて、慶應義塾大学三田キャンパスを中心としてスタンフォード大学に設置された米国会場や、SOI Asia パートナー (アジア全域) の複数拠点を接続した大規模なシンポジウムを実現

- <http://www.mozilla.jp/events/2007/mozilla24/>

● 2006 年

(2006-01)DMC 国際シンポジウム融合：文化創造社会に向けて

慶應義塾大学三田キャンパス内のグローバルスタジオとアメリカ、イギリス、中国、韓国に設置したグローバルスタジオを接続し 5 拠点を接続した国際シンポジウムを実施。

- http://www.keio.ac.jp/ja/press_release/2006/kr7a4300000aijp.html

(2006-02) 日韓インターネット政治対話@慶應義塾大学

三田キャンパス内グローバルスタジオと、韓国延世大学をビデオ会議により接続。日韓の国会議員と大学研究者によるディスカッションを実施。

– <http://www.yasutoshi.jp/blog/?id=1144720566>

(2006-03)SOI Asia5 周年, AI3 プロジェクト 10 周年記念シンポジウム

三田キャンパス内グローバルスタジオと SOI Asia パートナー拠点を接続した多地点シンポジウムを実施。

– http://www.keio.ac.jp/ja/press_release/2006/kr7a4300000ahwy-att/061005.pdf

● 2005 年

(2005-01) すばるマカリィ・スクール

ハワイに設置された国立天文台のすばる望遠鏡と東京をビデオ会議により接続しハワイにいる天文台スタッフと東京の参加者間での質疑応答等を実施。

– <http://www.wide.ad.jp/news/press/20050810-subaru-j.html>

(2005-02) 日韓インターネット政治対話

慶應義塾大学 SFC の ORF(Open Research Forum) のメインセッションの一つとして日本と韓国をビデオ会議で接続し日韓の国会議員と大学研究者によるディスカッションを実現した。

– <http://sfccclip.net/news2005112502>

(2005-03)DMC 機構 Global Studio 開設

韓国延世大学, 中国清華大学にグローバルスタジオを開設した記念シンポジウムを実施。

– http://www.keio.ac.jp/ja/press_release/2005/kr7a4300000attq-att/060313-1.pdf

(2005-04) 遠隔ドライアイ診断実験

アメリカニューヨークの病院にいる患者の患部映像を、慶應大学信濃町キャンパスで受信し、ドライアイの専門医が症状を診察する遠隔診断を実施した。

(2005-05)ORF2005 富山/高知遠隔ケーススタディ

慶應義塾大学 SFC ORF(Open Reserch Forum) のメインセッションの一つとして、六本木の主会場と富山県, 高知県のサテライト会場を接続し遠隔でケーススタディを実施。

● 2004 年

(2004-01)TSUNAMI シンポジウム

慶應義塾大学三田キャンパスと SOI Asia パートナー拠点を接続し津波に関するシンポジウムを開催。途中首相官邸と双方向のビデオ会議で接続し、小泉首相からのメッセージを共有した。

– <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/dai29/29gijiroku.html>

– <http://www.keio.ac.jp/ja/news/2004/kr7a430000004ely.html>

(2004-02)JGN2 シンポジウム

アメリカシアトルのワシントン大学から大阪で実施された JGN2 シンポジウムへ HD 非圧縮映像による遠隔講演を実施。

- <http://www.nict.go.jp/publication/NICT-News/0503/p03.html>
- <http://www.wide.ad.jp/news/press/20050127-JGN-j.html>

● 2003 年

(2003-01)SFC 連続公開講座

高校生向けの連続公開講座をインターネット配信し、鶴岡、倉敷の 2 拠点での集団参加と Real ビデオによるストリーミングを用いた個人参加を提供した。

- <http://sfccclip.net/news2003060601>

(2003-02)e!care ふじさわ：マルチアングル介護実習

マルチアングルの動画配信により、一般的な講義ではない介護実習を遠隔で実施した。介護実習用スタジオから前後左右上の複数カメラで撮影した映像を非圧縮で遠隔の講師へ伝送し指示や助言を行いながら介護実習を行った。

● 2002 年

(2002-01)ドイツ語研究室ビデオ会議導入

ドイツとの言語交換を行うため、SFC 側でビデオ会議システムの設置設定を担当した。

付録B 実証実験捕捉資料：クラシックコンサート

5章で述べた「ベートーヴェンは凄い全交響曲連続演奏会 2010」における捕捉資料を示す。図 B.1 は慶応大学日吉キャンパスにおけるパブリックビューイング会場における参加風景である。図 B.2, 図 B.3, 図 B.4 はプライマリスペースにおいて個人参加した場合のメディアエレメント毎の参加環境例である。図 B.5 はプライマリスペースとリエゾンスペースによる参加時の参加者環境での表示例である。図 B.6 から図 B.11 までは、イベント中にリエゾンスペースで観測された、イベント参加者による発言である。図 B.12 は、イベント中におけるオートノマススペースにおける、参加者の実際のコミュニケーションである。



図 B.1: 日吉パブリックビューイング会場における参加風景

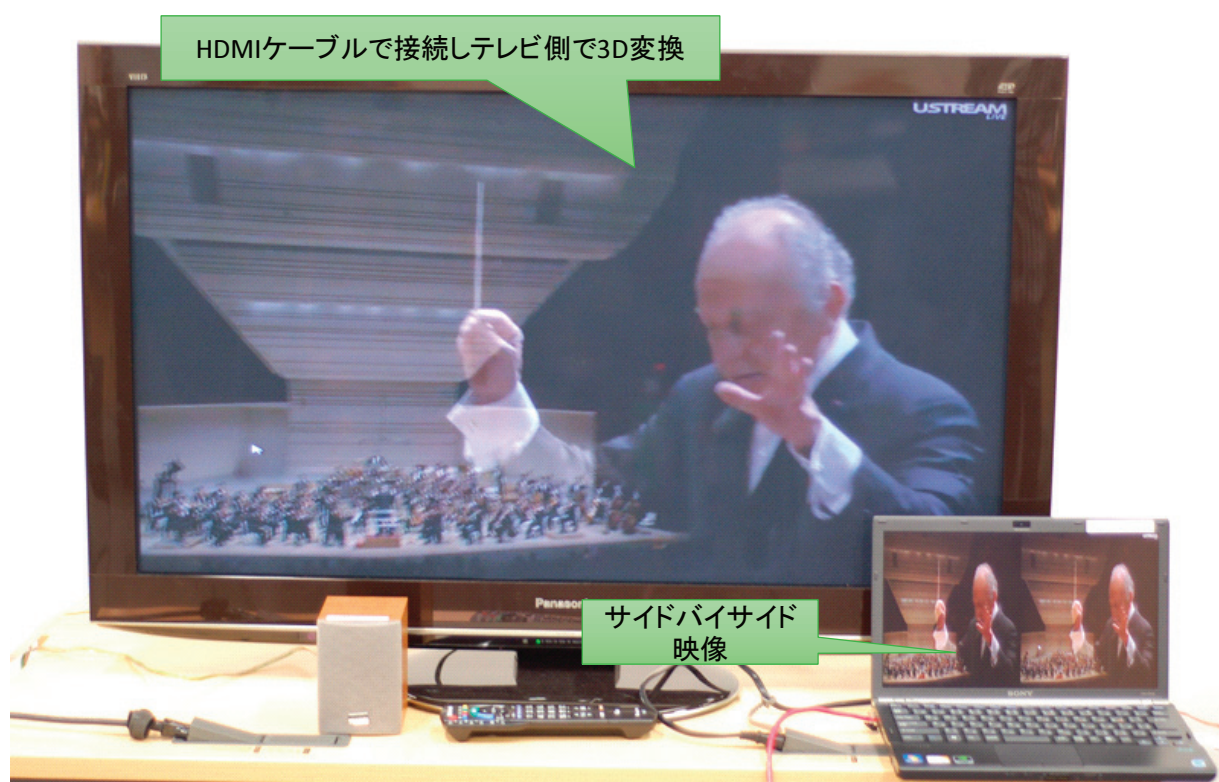


図 B.2: 3D 対応テレビによる 3D 視聴環境例



図 B.3: 3D 対応スマートフォンでの 3D 視聴



図 B.4: 24bit 96khz 高品質音声による参加



図 B.5: Ustream を用いたプライマリスペースとリエゾンスペースでの参加例



図 B.6: プライマリメディアに関する参加者のツイート



図 B.7: 演奏会中のオートノマススペースの利用



図 B.8: 休憩時間の参加者による実際のツイート



図 B.9: 品質や体験に関するツイート



図 B.10: オペレーションスペースとリエゾンスペースの連係例



図 B.11: イベント中の参加者からのトラブル報告



図 B.12: オートノマススペースでのコミュニケーション：2ちゃんねるのスレッド

付録C 実証実験捕捉資料：学校行事への遠隔参加

6章で述べた「平成22年度慶應義塾大学学部学位記授与式」、「平成22年度慶應義塾大学大学院学位記授与式」、「SFC卒業式(学部)」、「SFC卒業式(大学院)」における捕捉資料を示す。

図C.1に、遠隔で行われた表彰状授与の様子を示す。



図 C.1: 遠隔授与

付録D 実証実験捕捉資料：Mozilla 24 関連資料

図 D.1 に Mozilla 24 における Firefox の灯により表示される世界地図上にマッピングされたイベント参加者を示す。

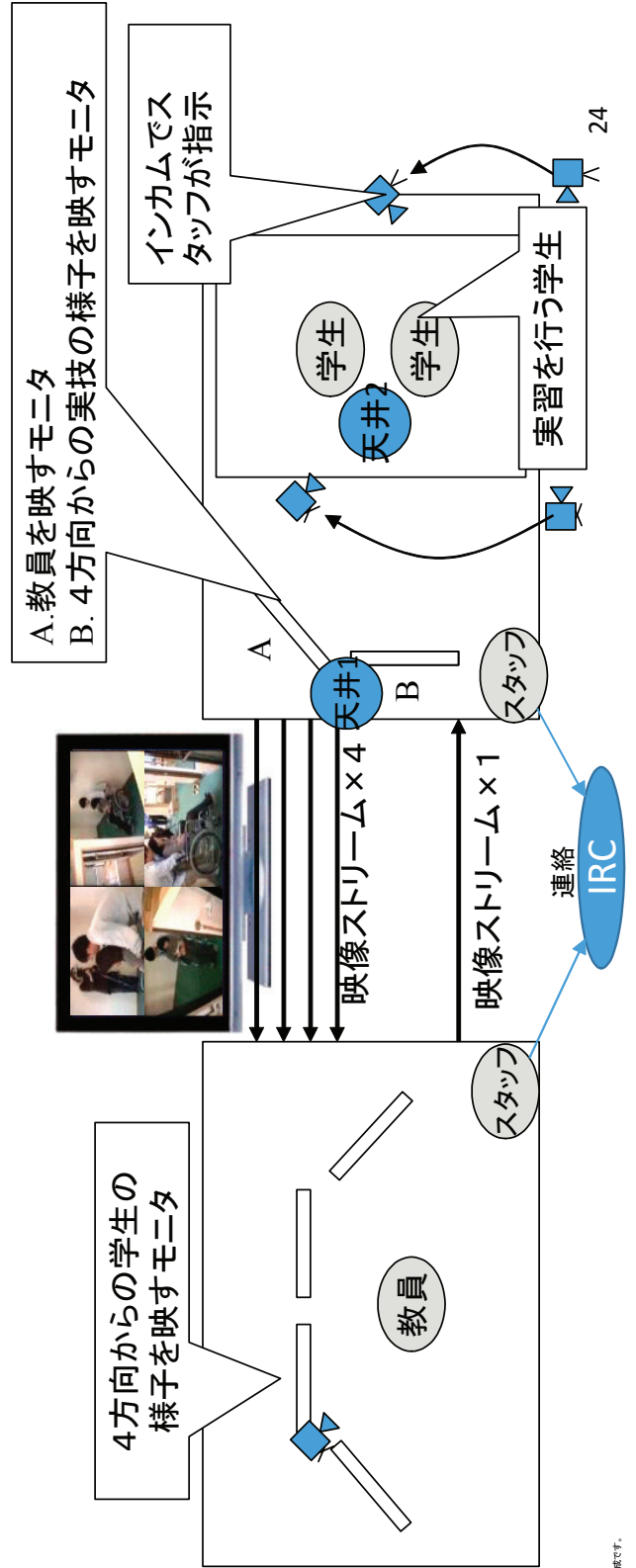


図 D.1: Mozilla 24 における Firefox の灯

付 録 E 遠隔授業の変遷：e!care ふじさわマルチ チアングル介護実習

図 E.1 にマルチアングル介護実習における会場の様子と実際のオペレーション体制を示す。

e!ケアふじさわ マルチアンゲル介護実習：
単一視点では授業以外の実習は難しい？ マルチアンゲル化



注 モニタの映像は、HDMI混合機です。

図 E.1: マルチアンゲル介護実習

付録F 遠隔授業の変遷：EBA Open Seminar

図 F.1 に EBA Open Seminar におけるリエゾンスペースの活用例として Facebook グループを利用した参加者間のコミュニケーションを示す。



図 F.1: EBA Open Seminar における Facebook グループの利用

付録G 遠隔授業の変遷：先端ITスペシャリスト育成プログラムにおける遠隔授業環境

図 G.1 図 G.2 に先端 IT スペシャリスト育成プログラムで構築した遠隔授業教室例を示す。

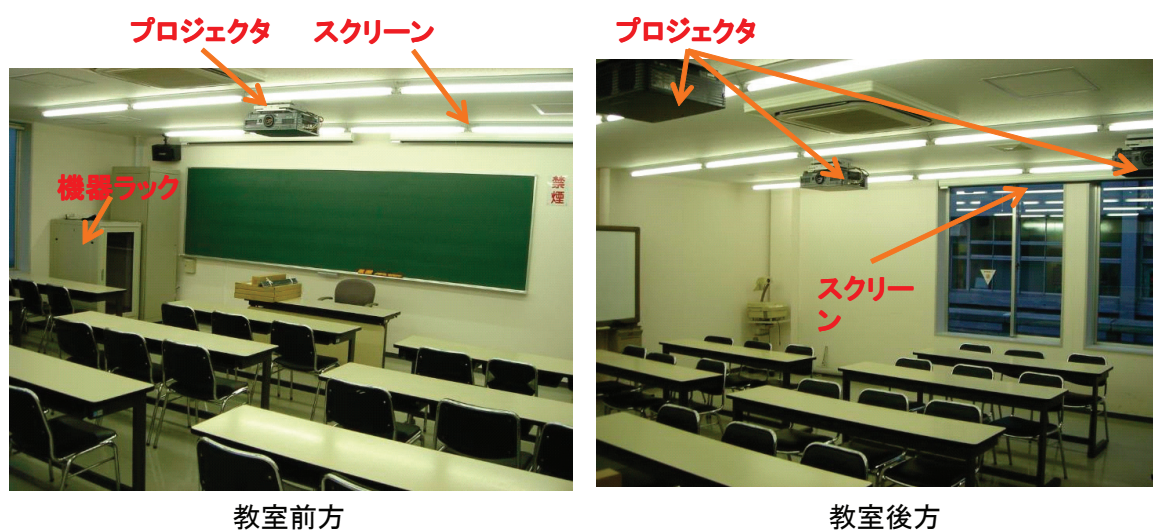


図 G.1: 早稲田大学先端 IT スペシャリスト育成プログラム用教室

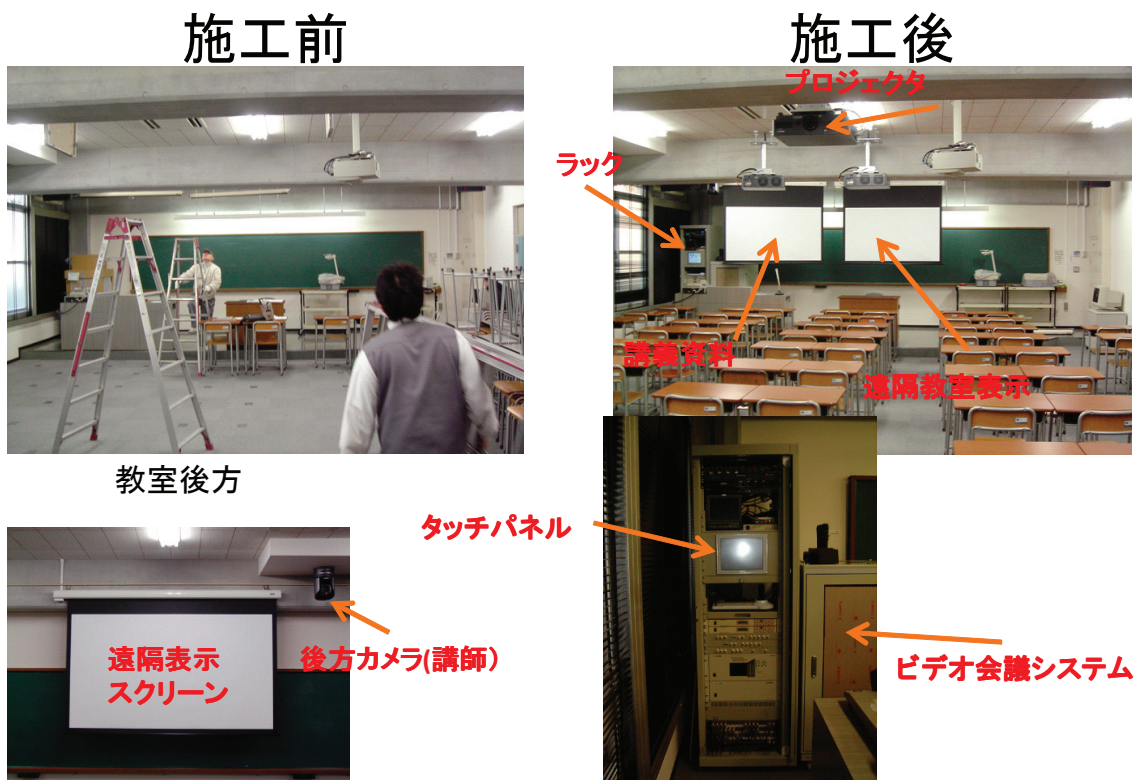


図 G.2: 慶応大学矢上キャンパス 12-101 教室