

神奈川工科大学

# 先端工学研究センター

研究報告

第 27 卷

2022 年度

研究推進機構

## 目次

- ・劣悪気象環境下での UAV を用いた防災対策に関する研究

機械工学科 木村茂雄・中根一郎・今井健一郎・林竜徳（ポスドク）

自動車システム開発工学科 山門誠・狩野芳郎

情報工学科 田中博

情報メディア工学科 上田麻理

産業技術総合研究所 阿部祐幸（本学客員教授）

防災科学技術研究所 佐藤研吾（共同研究締結）

宇宙航空研究開発機構 守田克

- ・AI クラウドと連携した大容量リアルタイムサービスチェイニングの実現

情報ネットワーク・コミュニケーション学科 丸山充，瀬林克啓，井上哲理，塩川茂樹，井家敦，岩田一

情報工学科 田中博，清原良三

電気電子情報工学科 中津原克己，高取祐介

自動車システム開発工学科 脇田敏裕

ロボット・メカトロニクス学科 三枝亮

## 劣悪気象環境下での UAV を用いた防災対策に関する研究

|                 |                            |
|-----------------|----------------------------|
| 工学部・機械工学科       | 木村茂雄・中根一郎・今井健一郎・林 竜徳（ポスドク） |
| 創造・自動車システム開発工学科 | 山門 誠・狩野 芳郎                 |
| 情報工学科           | 田中 博                       |
| 情報メディア工学科       | 上田 麻理                      |
| 産業技術総合研究所       | 阿部祐幸（本学客員教授）               |
| 防災科学技術研究所       | 佐藤研吾（共同研究締結）               |
| 宇宙航空研究開発機構      | 守田 克彰                      |

### 1. 研究の目的

本研究では以下の3テーマを対象とする。

#### 1. UAV による降雨中のリアルタイム河川監視システムの構築

本研究は降雨中、かつ強風時にも UAV を活用した、随時、任意箇所での河川状況の観測が可能となるシステムの構築を目的とする。高強度降雨中での UAV の飛行特性は既に検証済みである。従来困難であった強風時の UAV の飛行は、河川地面近傍（境界層低層内高度 0.5m 以下）を飛行させることで実現可能と考えている。同時に、植生の季節変化等の地面性状の変容に対応できるセンサ利用も検討の対象とする。実用化として、最終段階では UAV の飛行・観測活動の全自動化にあるが、本研究では自動化に不可欠な位置・距離センサの精度評価及び最適機器の選択と、本格的実用化に向けた指針を提案する。

#### 2. UAV による噴煙中のサンプル採取

UAV による火山噴煙中の火山灰及び小粒径の火山礫の採取を目的とする。現在に至る迄火山噴煙中の火山灰・礫の空間分布は世界的にも実測されておらず、噴煙拡散のシミュレーションによる解析結果の検証は十分になされていない。火山灰の UAV ロータへの影響評価は既に実施済みで、火山灰浸食による推力低下は 10%以下であることを検証している。また、6mm までの火山礫の UAV ロータ衝突試験は完了し損傷の程度の低いことを確認済みである。そこで、音響解析法を用いた火山礫の衝突頻度と損傷程度評価法の確立を図る。さらに、実際の噴煙中でのサンプル採取の具現化により実用化が可能となる。研究年度内に噴煙中の火山灰・礫採取を計画する（産総研地質調査総合センターの協力）。

#### 3. 降雪環境下での飛行安全システムの構築

本研究では、降雪（ぬれ雪）環境下での UAV の安全な飛行を可能とすべく、適切なセンサの選択と着雪対策手法の考案を目的とする。再生可能エネルギー関連施設（風力タービン、太陽光発電施設、送電線・鉄塔）の点検等降雪環境下における UAV の利活用に期待が高い。降雪時は視程が短いため安全な飛行には各種センサによる支援が不可避となる一方、センサ上の着氷雪対策（ぬれ雪は電波水膜減衰の原因）も必要となる。対策としては加熱方式の蓋然性が最も高いが、この場合、加熱方式（容量、部位等）の最適化と

融解水の除去が求められる。着雪・物体の界面での液相の水の挙動解析は申請者らが提案する蛍光計測が現状唯一の手法であり、2021 年度重点配分研究にて LED 信号灯器の着雪対策に適用された。これをミリ波レーダに代表される距離センサに適用し、UAV への実装の検討を行う。

## 2. 研究の必要性及び従来の研究

今後一層の利活用の期待の高い無人飛行体 (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) の防災対策への適用を本研究の目的とする。UAV 機の防災対策への利用に関するアイデアは決して新しいものではない。しかし、その多くが災害発生後の対応への利活用であり、本研究で扱う災害発生時での UAV 機の監視等に関する適用の提案は殆どなされていないのが実情である。防災対策は境界領域であり、かつ工学研究成果を高度に発揮しえる場となる。大雨や噴火といった災害発生要因そのものの回避は困難であるが、適切な対策を講ずることでの災害の程度の低減や災害の影響評価の精度向上は災害発生後の適宜な対応を可能とする。この意味において本学の地域連携災害ケア研究センターへの貢献も高く期待しえるものと判断する。

## 3. 期待される効果

本研究で採用した 3 テーマは防災対策への UAV の利活用である。テーマ 1 と 3 は、災害発生要因である降雨 (+強風) や降雪中にリアルタイムでの安全・安定した UAV 運用を可能とする研究である。現状、かかる気象環境下での UAV の飛行は控えることが指摘されている (防水型 UAV は存在するが機体自体の防水のみ)。また、テーマ 2 は火山噴火時の火山灰・礫の飛散解析に必要な噴煙中の火山灰・礫の空間分布を実測可能とする研究である。いずれも、これまで検討されてこなかった、あるいは、実行が困難であった防災関連研究での UAV の利活用において Breakthrough となりえる画期的な研究であり、社会へ高いインパクトを与えることが可能となる。さらに、劣悪な気象環境下での UAV の利活用への道を開くことで本研究の対象外の防災活動全般への波及を可能とできる。社会実装の観点からは「行政サービス」への貢献とすることが可能である。

## 4. 研究の経過及び結果

目的に記載された項目についての研究の経過と結果を以下に示す。

### 4.1 UAV による降雨中のリアルタイム河川監視システムの構築

#### 4.1.1 社会実装化に向けた取組

本研究の最終目標である社会実装として「行政サービス向上への貢献」に取り組んだ。リアルタイム河川監視システムの適用として厚木市内の河川を対象とすべく、本学地域連携災害ケア研究センター小川教授の助力を得て厚木市防災課と打ち合わせを実施した。同時に、厚木市内想定地域での UAV 飛行の許可を得るべく同課の協力を要請した。結果、荻野運動公園付近の荻野川での実証試験の実施が可能となった。

#### 4.1.2 対象とする UAV の選定

UAV には固定翼型と回転翼型の 2 種がある. 本研究では, UAV 機そのものの開発を対象とせず, 市販品を活用することを前提とした. 飛行速度, 制御・飛行操作性, および画像記録の観点から, 回転翼型 UAV である FPV (First Person View : DJI 社製) 機を選択した.



Fig.4.1.2.1 FPV 機全景

Tab.4.1.2.1 FPV 機諸元

| DJI FPV |                    |
|---------|--------------------|
| 総重量     | 793 g              |
| 寸法      | 255×312×127 mm     |
| ロータ径    | 13.4 mm            |
| 最大飛行速度  | 54 km/h<br>(Nモード時) |
| 最大飛行時間  | 20 min             |

#### 4.1.3 対象とする気象条件

河川監視では以下の効果を期待する.

- ・ 降雨時の任意の箇所・時刻における河川水位監視のリアルタイムでの実施
- ・ ハザードマップ作製への情報提供
- ・ 護岸、堤防の状況調査

この中で, 降雨時, 特に高強度降雨時, かつ有風時を研究の対象とした.

#### 4.1.4 定常風時の飛行に関する基礎試験

##### 4.1.4.1 UAV ロータ空力性能計算コード開発

一般化翼素運動量理論に則って単独ロータの空力性能計算コードを開発した (言語は Matlab とした). UAV ロータ計算における大きな問題が,

- ・ ロータがメーカーによって多種であること
- ・ ロータブレードに関する情報提供が全くないこと

である. これより, まず, 市販の UAV 用ロータブレード (APC 社製) の断面形状と各翼素の取付角を求めた. 翼型特性については以下の手法で算出した. ブレードを半径方向に 10 分割し, 各断面を紙上に転写して形状を画像解析で数値的に求める. 次に, この各断面を, NACA4 字系列の翼型で近似する. 最後に二次元翼特性の解析コード (MIT 開発 X-Foil) を用いて空力特性を算出した. 他方, 当該ロータブレードを用いた空力特性試験を実施し (産総研にて), ホバリング時の空力特性を求めた. 計算結果と試験結果は図に示すように良い一致を見たことから, 本解析手法の妥当性を確認した.

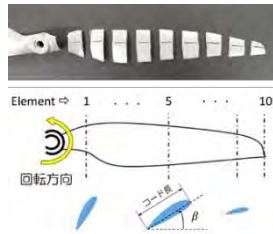


Fig.4.1.4.1.1 ブレード分割



Fig.4.1.4.1.2 断面の翼型近



Fig.4.1.4.1.3 空力性能試験

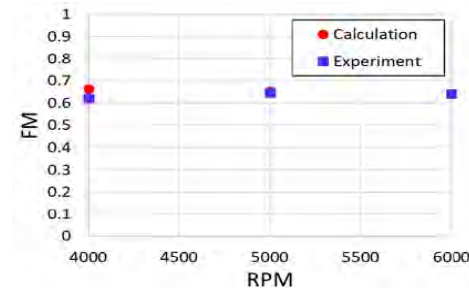


Fig.4.1.4.1.4 空力性能試験

#### 4.1.4.2 風洞試験

本学に在する中型低速風洞により，定常風時の UAV の飛行特性を解析した．無風状態の風洞内で UAV をホバリングさせ，風洞気流速を徐々に上げ，所定の風速に達した状態で機体を撮影する．これを風速 5～18 m/s の範囲で繰り返して実施した．得られた画像を解析することで，UAV の定常飛行時の傾斜角を求めた．UAV の自重がわかっていることから，傾斜角を知ることによって UAV 機体に作用する揚力・抗力成分が計算でき，定常飛行時の UAV 全機空力特性を求めることができた．



Fig.4.1.4.2.1 KAIT 風洞施設

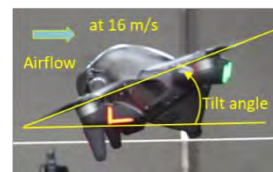


Fig.4.1.4.2.2 UAV 傾斜角

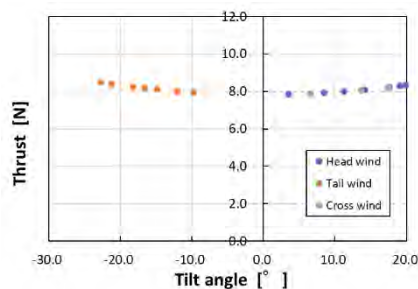


Fig.4.1.4.2.3 風速と UAV 傾斜角

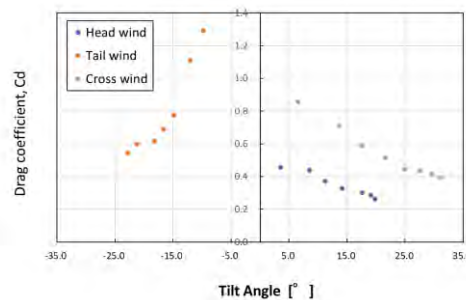


Fig.4.1.4.2.4 傾斜角と抗力係数

#### 4.1.5 突風時の UAV 機体の挙動解析

4.1.4.2 で略説した中型風洞を用いて突風時の UAV 機の挙動解析を行う。まず、風洞計測部の気流速を所定の値に保つ。UAV の計測部下部より一定速度にて上昇させ気流中に突入させ、測定部中位の位置で停止させる。これにより、UAV 機への模擬的な突風状態を再現する。突風は NEDO の指針に従い、孤立突風とし、前記試験方法にて、模擬的ではあるがこの突風う状態の再現が可能と判断した。風速は、3.3、5.0、6.2 m/s とした。

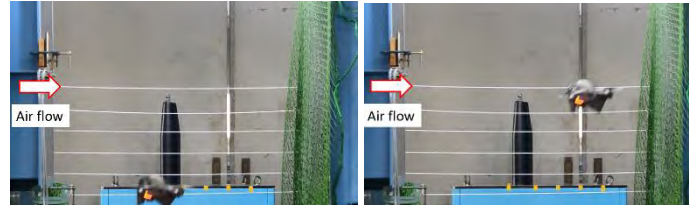


Fig.4.1.5.1 突風時の挙動

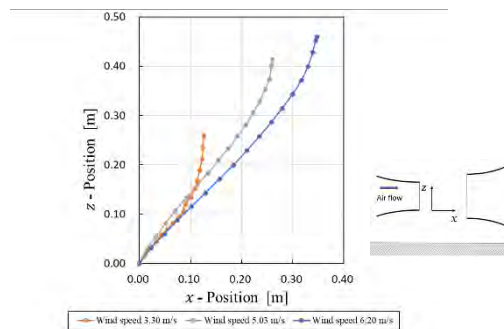


Fig.4.1.5.2 突風風速と UAV の変位

#### 4.2 UAV による噴煙中のサンプル採取

##### 4.2.1 火山礫雰囲気中の飛行可能性の評価

##### 4.2.1.1 音響学的解析による火山礫衝突評価

先行実施研究では、火山灰（粒径 2mm 未満の火山噴火吐出物）雰囲気中での UAV ロータ試験の可能であることを確認した。また、火山灰雰囲気を形成し、UAV ロータを回転させることで火山灰によるブレード浸食を再現できる試験装置を開発し、試験を実施した。結果、火山灰衝突によるロータブレード前縁部のロータ空力特性に与える影響は、8000RPM 時で 10%程度の推力低下にとどまり、ブレードの大規模な損傷に至ることのないことが分かった。

そこで、本年度は、粒径 2mm 以上の火山礫衝突のロータブレード損傷の影響評価を実施した。小粒径の火山礫の衝突状況は、ロータ回転数が高いことと礫の小さいことから、Video や高速度カメラ画像の解析が極めて困難で、そこで、衝突時に発生する音響を記録し、これを解析することで衝突の状況を解析することを試みた。

##### 4.2.1.2 火山礫衝突回数

音響学的衝突解析用に、回転するロータ近傍にマイクを設置でき、モータ等の騒音をできる限り低減させるように遮蔽装置を具備させた新たに試験装置を開発・製作した。試験手順

は以下のとおりである。なお、試験時間は一般的な UAV 機の飛行時間である 15 分とした。

A. 単独粒子衝突試験

1. 火山礫を 3 種 (2-4, 4-6, 6-8 mm) に分類し、それぞれ 100 個を選別する。
2. ロータ回転数を 6000rpm に固定し、ブレード翼端、半径位置 75% と 45% の 3 カ所に火山礫を 1m の高さから落下させる。
3. 試験時の音を記録し、解析する

B. 単独粒子衝突試験

1. ロータ回転数を 6000rpm 一定とし、火山礫を分別せず、ロータ半面と全面に 1m の高さから落下させる。
2. 試験時の音を記録し、解析する

いずれの試験においても試験に使用したブレードを保管し、別途産業技術総合研究所にて実施する空力性能試験に供することとした。

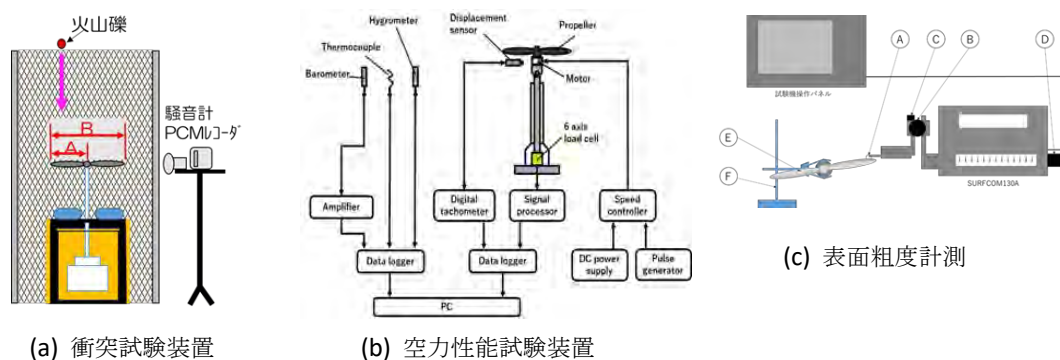


Fig. 4.2.1.2.1 火山礫衝突試験・計測装置

音響解析により、火山礫のブレード衝突回数を求めることができた。前述のとおり、高速回転中のブレードへの高々数mmの火山礫の衝突を視覚・映像的に観察することは困難であり、本研究による音響解析学的手法による成果と考える。

いずれの試験結果でも、衝突回数に差異が認められるものの、ブレードの大規模損傷は発生しなかった。また、試験で使用したブレードを用いた空力性能試験結果より、8mm までの火山礫が 550 回衝突を繰り返しても推力低下は無視しえる程度となった。これは、翼の着氷等でも観察されることで、着氷の程度が小さく、かつ迎角が大きくない場合、揚力の低下は小さい（無視しえる程度）一方で抗力が高くなることが確認されている。これから推察するに、火山礫との衝突においても、ブレード前縁部に若干の損傷は発生するが、揚力に影響を与える程度ではなく、さらに、ロータ推力はブレード揚力成分が支配的であることから、当該試験における結果の妥当性を見いだせる。

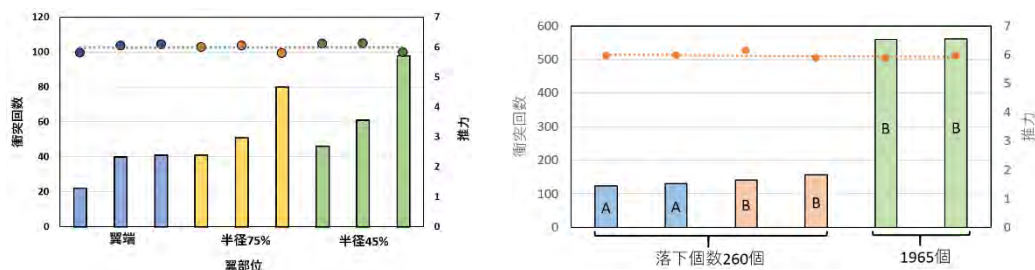


Fig. 4.2.1.2.2 火山礫衝突試験結果 - 衝突回数と空力性能

#### 4.2.1.3 大粒径火山礫衝突の影響評価

火山灰採取にあたっては、前述で検討した粒径 8mm を超える火山礫との衝突が考えられる。そこで、最大(相当)粒径 45mm の火山礫を回転中のロータに衝突させ破損の可否を検討した。衝突の状況は音響解析によって把握できる。ただし、いかなる粒径の礫が衝突したかは現状では把握しえていない。15 分間の試験を実施した結果、2 分後に翼端部に衝突した火山礫によってブレードが破損した。破損部はブレード翼端から 12%であった。

この程度のブレードの破損がロータ推力にどの程度の影響を与えるかを空力性能試験を実施することで調査した。回転数上昇に伴う推力は無傷の場合に比して全般的に低下する。6000rpm 時での推力低下はおよそ 27%となる。しかし、回転翼型の UAV 機ではロータは 4 発以上であり、飛行時には各ロータの回転数(推力)を適宜制御することで機体を維持する。よって、1つのロータブレードが本試験程度の損傷を受けたとしても、例えば、機体を水平に保とうとすれば、損傷ロータの回転数を上昇させてそれを実現するであろう。本試験からは、仮に各ロータが 6000rpm 程度で回転中に 1 発が損傷を受けた場合、その回転数を 7000rpm に上昇させることで同等の推力を発生させることが可能となることが推察される。

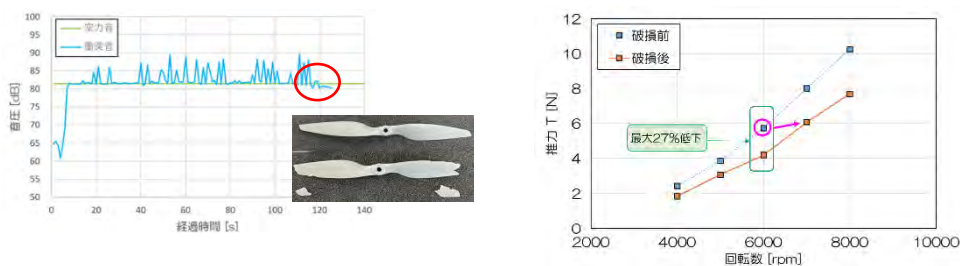


Fig. 4.2.1.3.1 大粒径火山礫衝突試験結果 - 空力性能

よって、以上の火山灰・礫中の飛行を想定した場合、45mm 程度までの礫が分布する空間での飛行が可能であるとの結論を得た。

#### 4.2.2 火山灰サンプル採取手法の開発

UAV 機を火山灰・礫中を飛行させてサンプルを採取するという本研究の目的に即し、火山灰を対象とした採取法について検討した。そのため火山灰雰囲気形成できる簡易風洞と、サンプル採取用のケースを設計製作した。UAV 機の一般的な飛行速度に合わせて気流速を最大 10m/s とし、火山灰 100g を風洞上流側に置き、風洞内にケースを設置して試験を実施した。

本試験装置では 0.5mm 以下の粒径の火山灰の採取が可能であった．しかし，サンプル採取では火山噴煙中の単位体積当たりの火山灰の粒径分布を知ることが必要であることから，さらなる装置の改良が必要と考える．

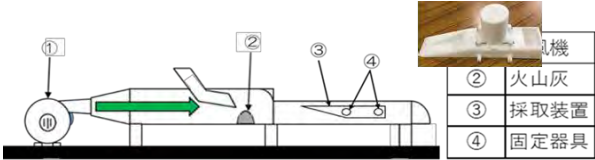


Fig. 4.2.2.1 火山灰サンプル採取試験装置

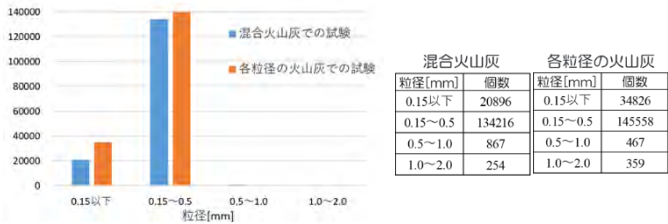


Fig. 4.2.2.2 火山灰サンプル採取試験結果

### 4.3 降雪環境下での飛行安全システムの構築

#### 4.3.1 ミリ波レーダの UAV への実装

ミリ波レーダの UAV 機への実装については，機体内部へとせず，機体下部への装着を想定する．したがって，本研究では，まず，UAV 機への実装を除外し，ミリ波レーダ単体での着雪の影響を評価する．

#### 4.3.2 湿雪着雪のミリ波レーダ検知への影響

ミリ波レーダ・レドーム上の湿雪着雪の影響評価用の試験装置を製作し，防災科学技術研究所・新庄雪氷防災研究支所内の雪氷防災実験棟にて試験を実施した．ミリ波レーダのレドーム上に湿雪着雪を模擬した試料を置き，レドーム上（153mm）に設置した対象物検知への影響を定量的に評価した．なお，試験因子として湿雪の含水量とした．

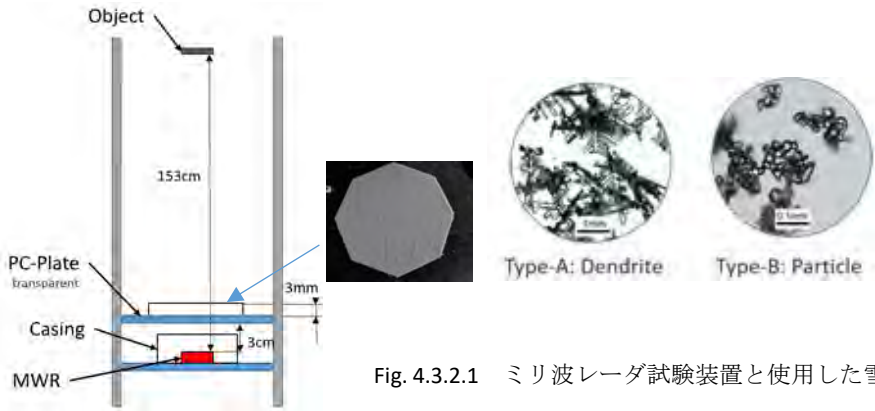


Fig. 4.3.2.1 ミリ波レーダ試験装置と使用した雪

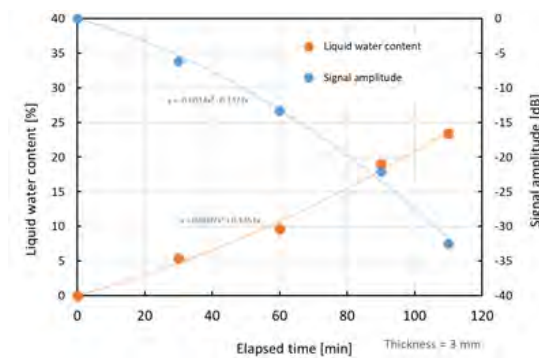


Fig. 4.3.2.2 ミリ波レーダレドーム上の湿雪着雪の影響

## 5. 今後の計画

### 1. UAV による降雨中のリアルタイム河川監視システムの構築

自然風環境下（突風環境を含む）での試験を実施し，提案した飛行法の妥当性を確認する．成果は厚木市防災課と協議し，今後の利活用法について検討する．

### 2. UAV による噴煙中のサンプル採取

本研究成果に関して，UAV 機を用いた火山灰採取を試みた（成功はせず，また，現在は研究中断）防災科学技術研究所と打合せを実施した．今後，実地試験に向けて調整を行う．

### 3. 降雪環境下での飛行安全システムの構築

本年度では，UAV 機の降雪環境下での飛行安全のために，ミリ波レーダの適用を検討した．成果は，自動車の自動運転への活用が高く見込まれることから，さらに，評価因子を増やして試験を実施し（既に防災科学技術研究所にての試験 3 回を予定する：防災研との共同研究，及び客員研究員としての兼務を了解済み），本学先進自動車研究所への情報提供とする．

## 6. 研究成果

- 鈴木唯翔，木村茂雄：有風時における UAV の挙動解析，関東学生会第 62 回学生員卒業研究発表講演会，日本機械学会，Mar., 2023
- 特許申請中：「強風時における回転翼無人航空機の飛行方法」 木村茂雄，湊谷洋児，萩野直人
- 松尾優太，佐藤研吾，大川元造，木村茂雄：湿雪着雪の LED 信号機輝度に及ぼす影響，寒地論文・報告集，Vol.38、2022
- 樽石郁弥，上田麻理，中根一朗，今井健一郎，佐藤研吾，木村茂雄：噴煙中を飛行する UAV 機ロータに与える火山灰・礫の影響，日本火山学会 火山 （投稿予定）
- 上田麻理，樽石郁弥，中根一朗，今井健一郎，佐藤研吾，木村茂雄：火山礫の UAV 機ロータブレードへの衝突の音響学的調査，日本音響学会誌（投稿予定）
- 佐藤研吾，金谷謙汰郎，野崎貴滉，中根一朗，今井健一郎，木村茂雄，山門誠，井上秀雄：ミリ波レーダ検知に与える湿雪の実験的影響評価，自動車技術会論文集（投稿予定）

## AI クラウドと連携した大容量リアルタイムサービスチェイニングの実現

研究者名：N 科 丸山 充，瀬林克啓，井上哲理，塩川茂樹，井家 敦，岩田 一  
I 科 田中 博，清原良三  
E 科 中津原克己，高取祐介  
V 科 脇田敏裕  
R 科 三枝 亮

### 1. 研究の目的

これまで映像制作や医療・教育等のニーズに向けて、情報通信機構（NICT）や国立情報学研究所（NII）等の産学官連携により 8K 非圧縮 IP 伝送を進めてきた他、クラウドサービス（以後クラウド）を用いた 8K 非圧縮仮想サーバの実現、さらには端末とクラウドの間に、エッジ部を導入するモデルを提案し、映像スイッチングなど様々な映像処理機能を実現し、様々なユースケースとして可視化し、情報発信してきた。特にエッジ部におけるソフトウェアベースで数 10Gbps の速度域のリアルタイム処理技術については、内外からの反響があるコア技術になった。

次のステップとして AI を利用した画像認識・検査等と組み合わせたリアルタイム超高精細映像処理を実現するために、エッジ部やクラウド部の計算機の演算・蓄積能力の有効活用を行う処理モデルを明らかにすると共に、様々なサービスファンクションを柔軟に組み合わせて、統合的な映像処理サービスとして提供可能とする「リアルタイムサービスチェイニング」のプラットフォームの開発を進める。

### 2. 研究の必要性及び従来の研究

ネットワークの広帯域化に伴い、高精細のストリームデータを扱うアプリケーションの普及が見込まれている。特にハイビジョンの 16 倍の画素数である 8K 超高精細映像を扱うアプリケーションは放送分野・医療分野をはじめとして、様々な研究分野の可視化にも有効である。

一方、普及が目覚ましいクラウドを用いた高精細映像アプリケーションの利用が期待されている。クラウドは、計算機ハードウェア上に構成した仮想計算機（VM: Virtual machine）群を時間単位で利用できるため、費用対効果が高く AI 用の計算機リソースも有効に利用できる可能性がある。しかしながら次の課題がある。1 つが高精細映像処理に用いる非圧縮フォーマットは扱うデータ量が大きい（フル解像度 8K の 60 フレーム/sec 仕様で 48Gbps/ストリーム）事である。このため、映像データを遠隔地にある AI 計算機に伝送したり、蓄積して編集したり、複数ストリームを用いて AI 処理や加工する運用には、ネットワーク帯

域の確保に加えて、パケット処理性能、演算性能・蓄積配信性能の確保が必要である。また他の課題として、クラウド上の VM の処理オーバヘッドが大きい事、割り当て方法や他のユーザの使用状況によって性能が低下する事、さらにはリソース競合により予期せぬ性能低下が発生する事である。このため、AI クラウドのリアルタイム処理能力を引き出すためには、新たなアーキテクチャモデルが必要である。

### 3. 期待される効果

これらの経験から、端末と AI クラウドの間に、フレーム単位 (60 フレーム/sec で 16.6ms, 120 フレーム/sec で 8.3ms) の同期制御が可能なエッジ部を設け、この粒度で端末側と同期を取った上で、AI クラウドの VM 群の統括制御、複数ストリームの同期や待ち合わせ処理を行うモデルを科研費の「エッジとクラウドの連携によるリアルタイム映像処理基盤の実現」の中で提案して基本検討をしている。本研究ではこのモデルを一步拡張して AI 計算機群を統合すると共に、適用範囲を広げて実証的に評価する。具体的には、映像ライン単位(数  $\mu$ s)のリアルタイム同期制御可能な端末部、1 フレーム単位のリアルタイム同期制御可能なエッジ部、リアルタイム性の保証が難しい非同期制御の AI を含むクラウド部の計算機群に処理を分割し、これらが協調して並列演算処理や蓄積配信処理を行うアーキテクチャモデルを適用する。アーキテクチャモデルの最大要求性能は、フル解像度 8K 映像のリアルタイム AI 処理を目標と定め、実装可能な構成を明らかにすると共に、次に示す適用範囲拡大のための課題に取り組む。

まず、エッジ部における課題である。これまでにエッジ処理の基本機能として映像スイッチング等を実現し、NICT 雪まつり 2019 や Interop Tokyo 2019 の場で実験を行ってきたが、使用するネットワークの構成やクラウドの VM の配信場所や性能によって必要となるエッジ部の機能が異なりその度に多量の配線を組み直す必要が生じている。本技術をさらに展開するためには、使用するアプリケーションやリソースの環境によってエッジ部に必要となる機能を自在に選択可能な柔軟性が必要である事が課題である。

次にネットワークの多様性である。これまでは光ファイバーベースのネットワークしか考えていなかったが、今後は回線帯域が 10Gbps 程度のローカル 5G や構内の Mesh Wifi 等の無線アクセス回線を利用した入出力端末の有効活用が課題であり、この実現のために、エッジ部に柔軟な圧縮・伸長を実現するトランスコーディング機能を盛り込む。

本提案システムの実現に向けて、次のような課題に取り組む。

- (1) AI クラウド、エッジ部、クラウドのサービス機能を自在に連携させるリアルタイム並列分散処理基盤の確立
- (2) セグメントルーティング等を利用したリアルタイムサービスチェイニングネットワークの実現
- (3) エッジ部のトランスコーディング機能を利用した 5G 等の無線アクセスネットワークとの統合

#### 4. 研究の経過及び結果・評価

2022 年度は、以下の項目を進めた。

- ・映像処理機能を相模原 DC に実装

AI クラウドで性能確認を行った SIMD (Single Instruction Multiple Data) 並列処理命令と DPDK (Data Plane Development Kit) を併用して、映像処理機能 (VVF: Virtualized Video processing Function) として 2021 年度から開発を進めている非圧縮 8K フォーマット間のトランスコード処理機能を拡充した。8K-DG (8K デュアルグリーン: 24Gbps) からフル解像度 8K(48Gbps) への変換処理および、色変換処理を SINET6 の相模原 DC に構築したエッジ装置内で動作させ、Interop Tokyo 2022 や SC22 で実証デモを実施した。

また、フル解像度 8K から 8K-DG への逆変換を実装した他、アプリケーションの 1 つとして、8K 映像の任意の場所を HD の範囲で切り抜き処理を行う実装を進め、NICT 雪まつり実験 2023 で実証実験を行った。

- ・セグメントルーティング (SRv6 : Segment Routing IPv6) をサービスチェイニングの広域実験に関して、NTT コミュニケーションズとの連携を実施

Interop Tokyo 2022 の実証実験を契機にルータ上において SFC を実現する「インラインサービスチェイニング」と 8K 映像配信処理への応用に関して、NTT コミュニケーションズとの共同研究に繋がり、SRv6 の標準化に基づいた処理アーキテクチャの検討および SRv6 のプロトコル処理オーバーヘッドを定量的に測定し、NS 研究会で発表した。また NICT 雪まつり実験 2023 における Kamuee を利用した広域 SRv6 映像配信実証実験を実施した。

- ・NICT 委託研究への弾込め技術

現在、NICT の B5G 委託研究「高臨場感通信環境実現のための広帯域・低遅延リアルタイム配信処理プラットフォームの研究開発」を受託し、アンカー企業と実用化に向けた開発を進めている。本技術のアプリケーション技術として、本研究で得られた成果を順次移行している。

以下、実証実験を中心に概略をまとめる。

##### 4.1 映像処理機能を 400Gbps 相模原 DC に実装

SINET6 の相模原拠点に、神奈川工科大専用のコロケーションラックを借り、400Gbps のエッジ処理部を構築した。神奈川工科大学には SINET6 を介して 100Gbps で回線接続され、大学内からも自在にアクセス可能な環境である。また、常時動作させる事が可能となるため、他組織からも本設備を利用する事も可能である。

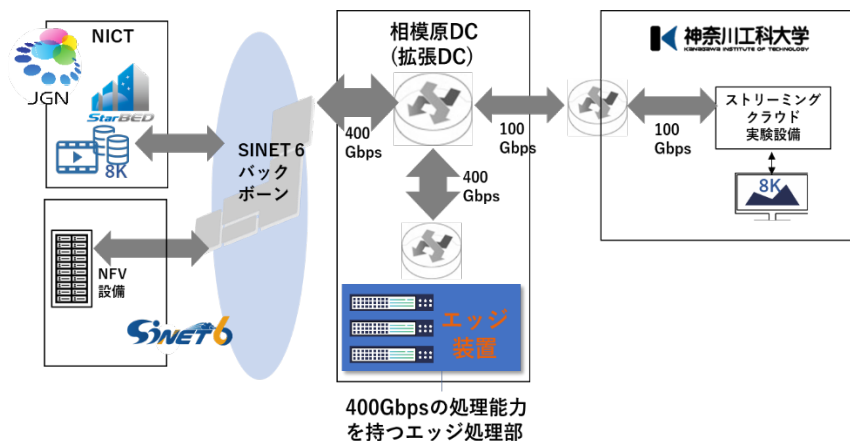


図 4.1.1 相模原 DC のエッジ装置と大学からの検証実験環境

実際に構築したシステムが以下になる。

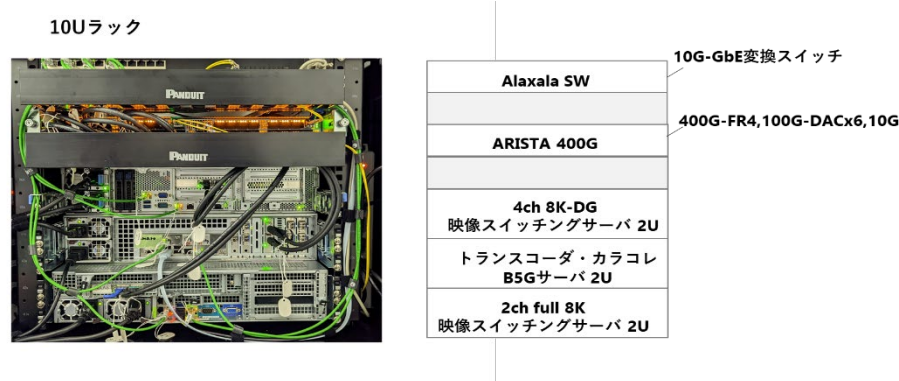


図 4.1.2 エッジ装置の実装状況

本システムに使われている PC サーバ (Intel Xeon Gold 6338x2, Ice Lake システム) 単体でフル解像度 8K 映像スイッチング処理の性能試験を行ったところ, 入力 184Gbps, 出力 96Gbps を問題なく処理できる事が確認できた。

## 4.2 Interop Tokyo 2022 にてエッジ装置を用いた 8K 映像処理実験

2022 年 6 月に, 幕張で実施された Interop Tokyo 2022 展示会に参加し, 全国に分散したいくつかの 8K 映像ソースを, 相模原 DC のエッジ装置を用いてネットワーク経由で自在に切り替え, 色変換を行い配信する実験を実施した。具体的には, ブース内カメラ, 神奈川工科大 8K カメラ, 沖縄宜野座 8K カメラ, 北陸の StarBED に構築した 2 つの 8K 映像サーバなど多地点から, 異なるフォーマットの 8K 映像 (8K デュアルグリーン: 8K-DG 24Gbps, フルサイズ 8K 48Gbps など) を用いて, 端末で製作作業をしている製作者の要求に従って瞬時に切り替えると同時に, 切り替え後の 8K 映像をフォーマットの変換を無劣化で提供すると共に, カメラ毎に異なる色彩調整 (カラーコレクション) をリアルタイムで行うシステムを構築し, 展示した。

フォーマット変換や色彩変換には相模原 DC のエッジ装置の PC サーバ内に構築したソ

ソフトウェアベースのパケットスイッチを用いた、IP 入出力処理と (A) 8K-DG を 8K RGB に変換する処理, (B) 8K RGB の中で色彩調整, (C) 8K RGB をフルサイズ 8K に変換する処理を組み合わせで実装し、リアルタイムで動作する事を実証した。展示を通して、エッジ装置の複数の映像処理機能がネットワーク内で共用可能となり、映像編集拠点毎に集約していた映像処理機能が不要になる事を示した。

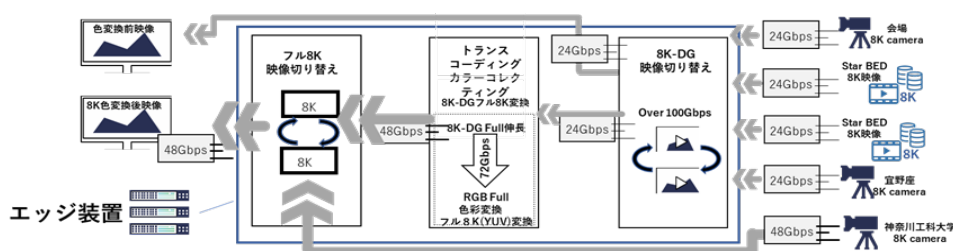


図 4.2.1 Interop Tokyo 2022 におけるエッジ装置における VVF

本システムは、図 4.2.2 に示すように沖縄、相模原 DC、神奈川工科大と広域に跨るシステムであり、学生が、システム構築・検証、当日の運用を進めてくれたため、教育効果もあったと考えている。なお本実証実験は、NICT, NII, Interop 会場内の ShowNet をはじめとする複数の関係組織との共同で、400Gbps/100Gbps の広帯域国内回線を用いて実施した。

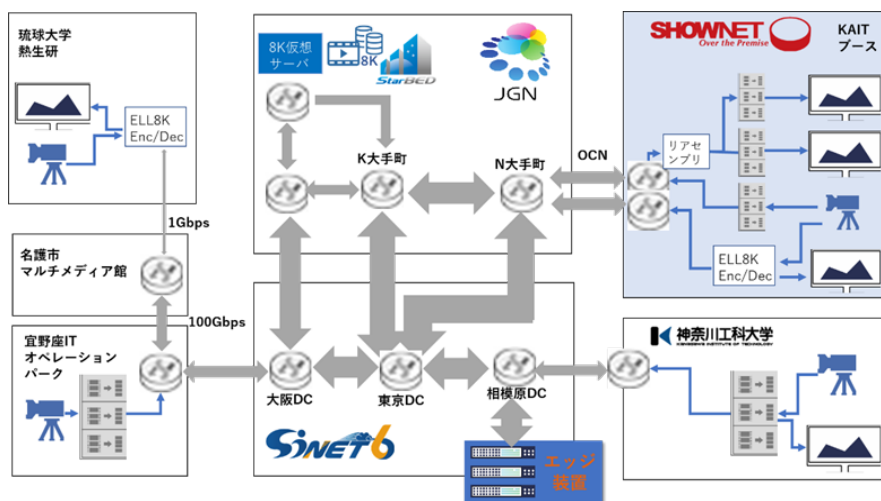


図 4.2.2 Interop Tokyo 2022 のネットワーク構成図

### 4.3 SC22 にてエッジ装置を用いた 8K 映像処理実験

SC22 (2022 年 11 月 14 日～17 日, ケイ・ベイリー・ハッチソン・コンベンションセンター・ダラス) 国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT)ブース(#3247)において、ネットワークに設置した 400Gbps 対応エッジ装置を用いて、8K 映像を非圧縮のままリアルタイムに編集・配信する国際実験・デモを実施した。



図 4.3.1 SC22 会場風景

本実験・デモは、Innovating the Network for Data-Intensive Science (INDIS) Workshop の一環として実施される Network Research Exhibition (NRE) に採択され、実現したものである。高速処理が求められる 8K 非圧縮映像のリアルタイム編集・配信は、エッジ装置内の映像切替や映像フォーマット変換などの個々の処理映像処理機能用のソフトウェアを処理の順番に結合（サービスチェイニング）することで実現している。映像制作者がボタンを押して動画切り替えを指示すると、瞬時にフォーマット変換された映像に切り替わり、色調整つまみを操作することで、色を調整し、自然なつながりで映像を作成・配信することができる。

今回は、会場の操作装置から相模原 DC に設定されたエッジ装置を操作し、宜野座村サーバファーム、大学、会場に設置したカメラと StarBED の映像サーバ 2 式の計 5 つの映像を、リアルタイムで色調整・編集し、会場まで配信した。

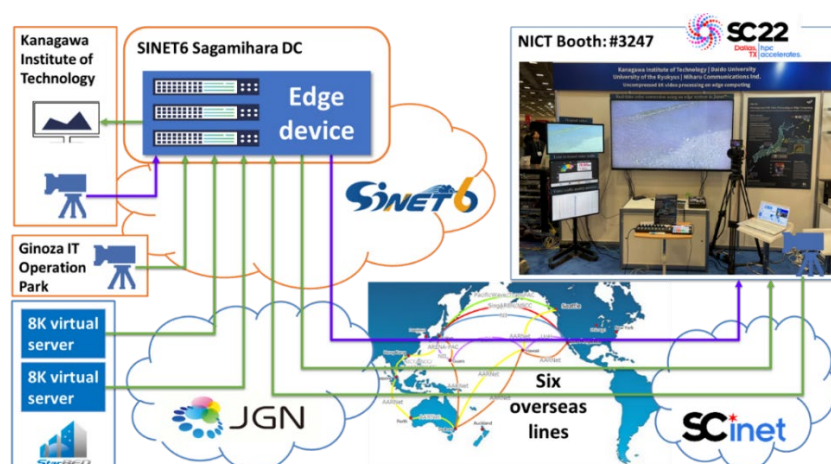


図 4.3.2 SC22 のネットワーク構成

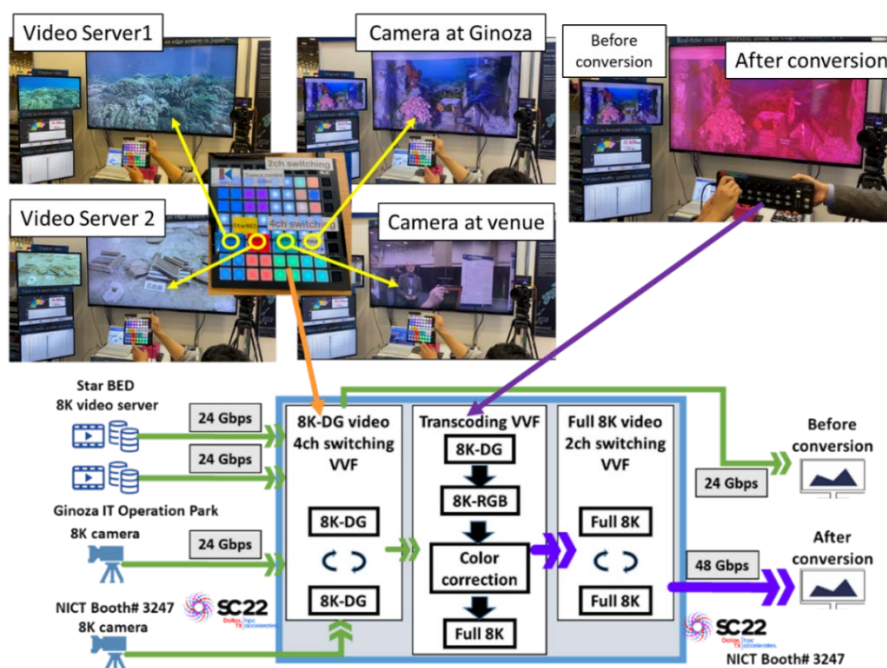


図 4. 3. 2 映像処理の遠隔操作の様子

また，会場で受信した映像トラフィックは神奈川工科大学で開発したトラフィック可視化ツールで観測し，攻撃トラフィックにより映像が乱れた際のトラフィックの挙動の変化を“見える化”した．これらのトラフィック可視化ツールは，100Gbps のトラフィックのビットレートやパケットロスを 1 秒未満の時間解像度でリアルタイムに可視化する専用装置レベルの機能・性能を汎用 PC で実現したものである．



図 4. 3. 3 ネットワーク擾乱時のトラフィックモニタリング

8K 非圧縮映像処理技術，トラフィック可視化技術は，今回の NRE の採択を行った米国屈指の技術者・研究者で構成される NRE や会場ネットワーク(SCinet)のメンバーから高い評価を頂き，NICT ブースの SCinet Spirit of Innovation Award 受賞に貢献した．



図 4.3.4 SCinet Spirit of Innovation Award 受賞

#### 4.4 SRv6 を用いたインラインサービスチェイニングの提案と広帯域映像処理への応用

Service Function Chaining (SFC) は、特定のトラフィックを Network Function に経由させ、映像補正やセキュリティ機能などのサービスを実現する技術である。今後広がると想定される映像編集作業において、ネットワーク上に分散した機材やコンピューティングリソースを用いて遠隔地から番組の分散編集制作を行う際に図 4.4.1 に示すサービスチェイニングの技術が効果的であると考えている。サービスチェイニングには様々な実現形態があるが、IPv6 既存ネットワークとの親和性が良い SRv6 に注目している。

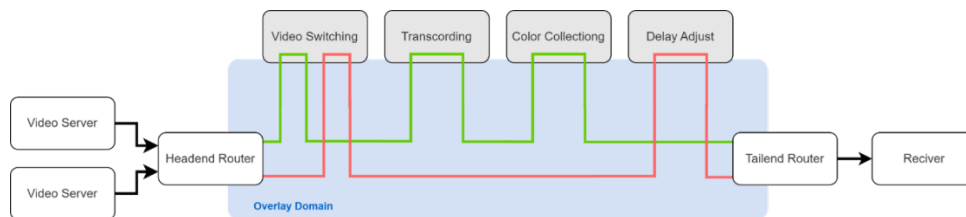


図 4.4.1 映像分散編集制作におけるサービスチェイニングの適用

既存の SFC 技術では Service Function Forwarder で経路制御を行い、SFC Proxy を介して Network Function に接続する形態になるためにトポロジー上の制約が大きく、配置変更のためには、物理的な構成変更が必要であった。そこで、新たに図 4.4.2 に示す中継ルータ上で Network Function を提供するインラインサービスチェイニング方式を標準化提案に基づき End.AN として実装する。

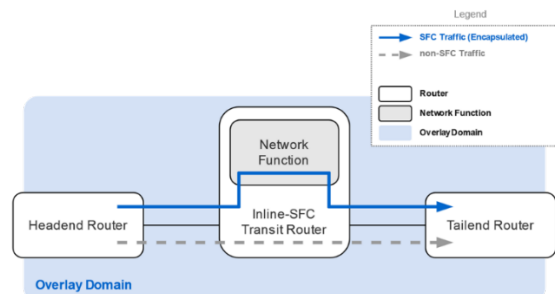


図 4.4.2 インラインサービスチェイニングアーキテクチャの提案

End.AN 方式を、VVF の 1 つである映像スイッチング機能に以下の要求条件として実装した。

- ・ Network Function として映像スイッチング機能を実現
- ・ 主系統, 副系統に Local SID を定義
- ・ Local SID で主系統, 副系統に振り分け

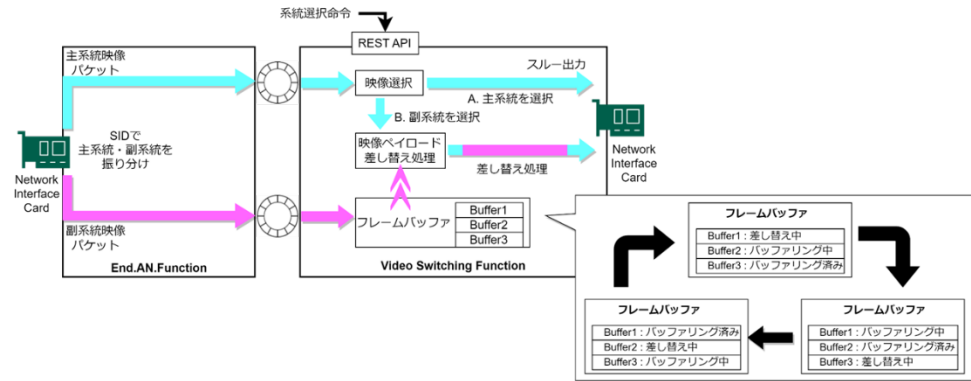


図 4.4.3 End.AN を用いた映像スイッチング機能

本映像処理機能を用いた End.AN 性能評価実験をした結果、既存手法の構成と比較して、End.AN を用いる構成で増加した遅延は最大約 7.7 $\mu$ s であり提案手法が 1 フレーム(16ms)未満でのオーバーヘッドで十分に実現できる事を明らかにした。

#### 4.5 NICT 雪まつり実験 2023 における広域 SRv6 映像配信実証実験

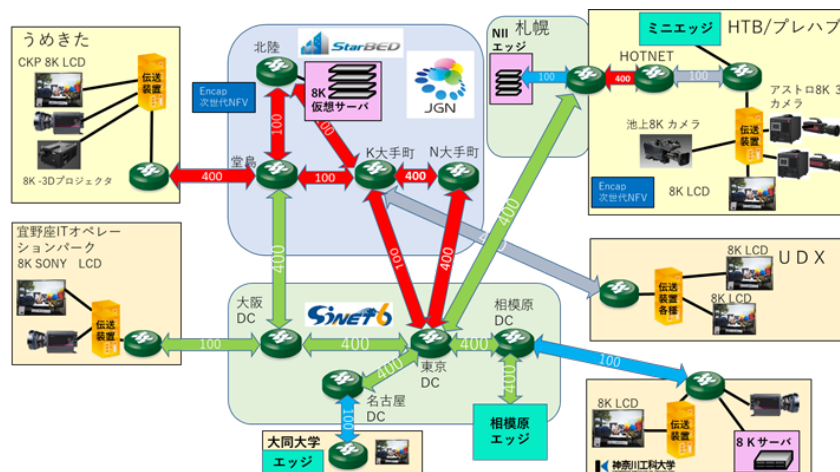
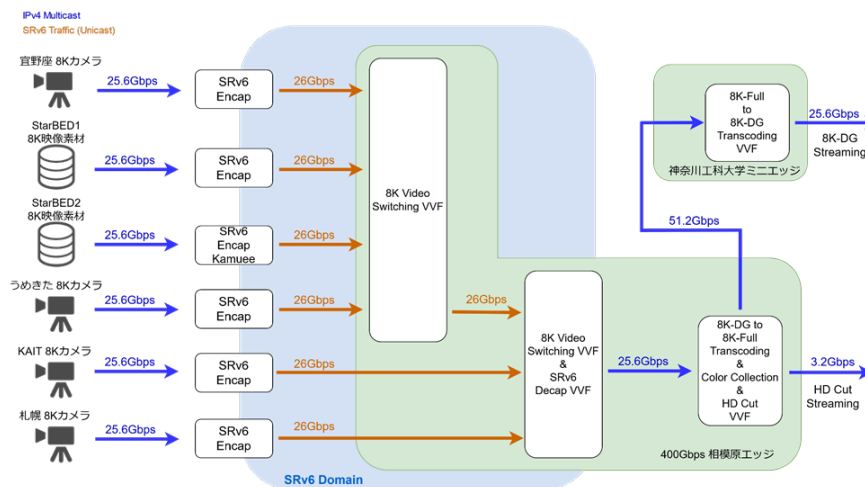
4.4 で提案したアーキテクチャを用いて 2023.2 に実施した情報通信研究機構主催の「さっぽろ雪まつり実験 2023」における広域実証実験を行った。

これは、図 4.5.1, 4.5.2 に示すように札幌、うめきた、神奈川工科大学、宜野座の複数拠点からのライブカメラ映像および北陸 StarBED からの 2 系統の蓄積配信映像を使用し、相模原と神奈川工科大学に設置したエッジ装置を用いて 8K ライブ映像の映像スイッチングを行い、色変換やフォーマット変換、映像の一部切り出し処理などをリアルタイムで行う編集ワークフローを実現した。

相模原拠点のエッジ装置に 4.4 で実装した End.AN を実装した映像スイッチング機能を 2 系統配置した。また、各映像拠点は IPv4 マルチキャストで映像送出されて、SRv6 のヘッダを付加する Encap 処理を行って End.AN に接続される。北陸の StarBED の Encap 処理に B5G 高信頼 NFV の VM として実装された NTT コミュニケーションズが作成したソフトウェアルータ Kamuee を使用した。本構成において、3 日間の安定運用に成功した。

Kamuee の Encap 処理機能の性能評価も実施した。その結果、24Gbps の IP マルチキャストを受信し、SRv6 パケット化し送出する処理に関しては、VM 上で安定的に動作を確認した。

4.4 および 4.5 の提案に関して、信学会 NS 研究会 [7] で NTT コミュニケーションズと共同発表した。会場からは、End.AN の標準化提案への貢献に向けたコメントをいただいた。



## 5. 今後の計画

2022 年度が 3 年間続けてきた本研究の最終年度にあたる。本研究の期間中に本研究で検討してきたエッジコンピューティングの映像処理技術を基に実用化に向けた提案がアンカー企業と共にNICT委託研究の採択に繋がった他、中間評価であるステージゲートでも継続に値する評価をいただいた。今後、我々が提案している DPDK を用いた映像処理のプラットフォームの早期実用化に貢献できるように努力したい。

VVF と命名した映像処理機能に関しては、DPDK と SIMD を連携した新たな処理ワークフローとしての可能性を示す事に繋がった他、SRv6 を用いたサービスチェイニングの提案に関しては、NTT コミュニケーションズに興味を持っていただく成果になった。今後、NTT コミュニケーションズとの共同研究の中でサービス実用化や標準化提案を目指して、研究を進める予定である。

## 6. 研究成果の発表

- [1] 丸山 充, 瀬林克啓, 岩田 一, 君山博之, 仲地孝之, 加藤康久, 青木弘太, “広帯域・低遅延リアルタイム配信処理プラットフォームの実現に向けて,” 信学会, 第 40 回 NV 研究会, 2022.5.26.
- [2] Katsuhiko Sebayashi, Mitsuru Maruyama, Hajime Iwata, Hiroyuki Kimiyama, Takayuki Nakachi, Kouta Aoki, Yasuhisa Kato, Shigeno Urushidani, Takeshi Kurimoto, Eiji Kawai, Hideki Otsuki, Kazumasa Kobayashi, “Uncompressed 8K video processing using edge-computing,” SC22 Netowk Research Exhibition, Nov.2022.
- [3] 丸山 充, “光通信インフラを活用した 8K非圧縮映像通信,” マルチメディア推進フォーラム, オンライン開催,2022.4.7.
- [4] 瀬林克啓, 丸山充, 岩田一, 君山 博之, 仲地孝之, , 加藤康久 , 青木弘太 , 漆谷重雄 , 栗本崇, 河合栄治 , 大槻英樹 , 小林和真 , “低遅延リアルタイム配信処理プラットフォームの実現に向けた取り組み,” , 先端ネットワーク利用に関するワークショップ「ADVNET2022」, オンライン開催, 2022.10.14.
- [5] 瀬林克啓,岩崎昂大,池田哲也,丸山 充,君山 博之,青木 弘太,栗本 崇,漆谷 重雄,“仮想環境を用いた 8K 映像ストリームサーバの実現,” 情報処理学会, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル DICOMO 2022 シンポジウム, pp.792-800, 2022.7.14.
- [6] 伊藤悠真, 青木弘太, 瀬林克啓, 君山博之, 丸山 充, “エッジコンピューティングを用いた 8K 超高精細映像のトランスコード機能の実現,” 信学会 IA 研究会, 信学技報, vol. 122, no. 211, IA2022-35, pp. 15-20, 2022 年 10 月.
- [7] 伊藤悠真, 青木弘太, 三島 航, 深川祐太, 小原泰弘, 石岡朋紘, 岡本李輝, 瀬林克啓, 丸山 充, “SRv6 を用いたインラインサービスチェイニングの提案と広帯域映像処理による実証.” 電子情報通信学会 NS 研究会, 信学技報, 2023.3.3.