



# SWIMのコンセプトによる監視情報 ドメイン構築に関する検討

---

○呂 曉東, 古賀 禎, 住谷 泰人, 塩見 格一

電子航法研究所

2017年6月8日



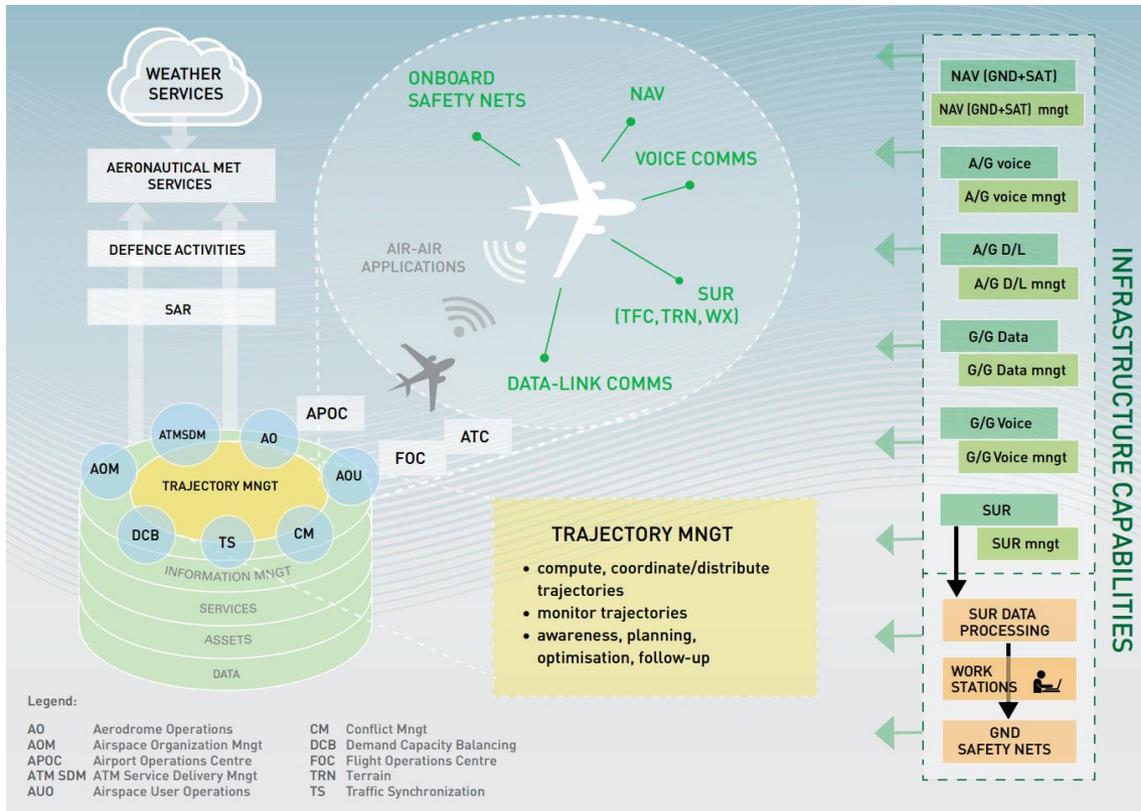
# Agenda

---

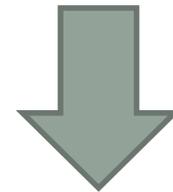
1. 背景
2. SWIMによる情報共有
3. 監視情報ドメインの構築
4. 追尾精度の向上
5. 評価実験
6. まとめ

# 背景: Global Air Navigation Plan (2016-2030)

## ➤ ATM Logical Architecture

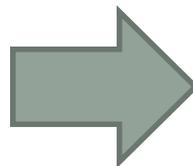


Trajectoryにより  
高度な運航



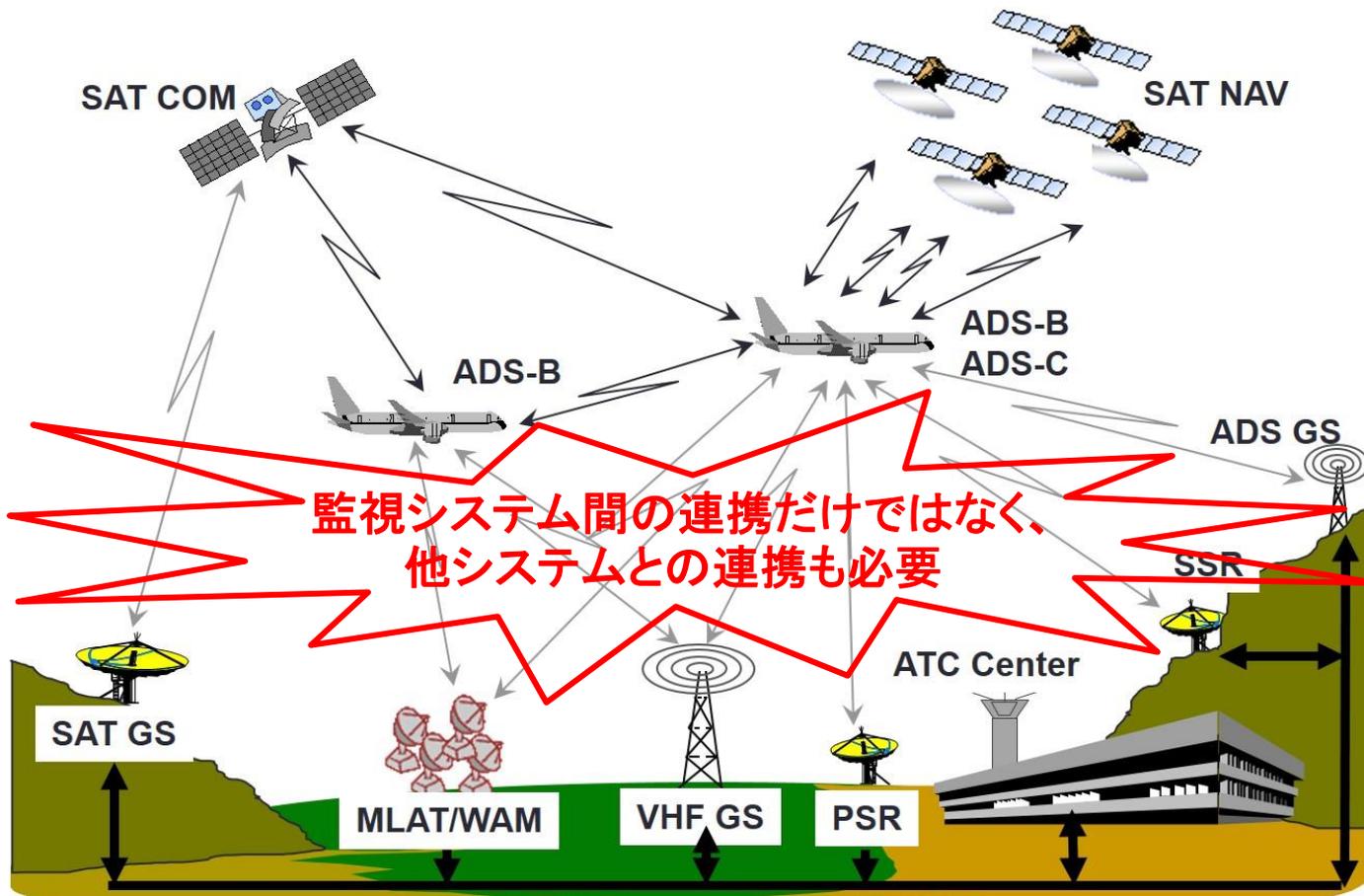
監視システムと  
緊密な連携

Surveillance based  
Operation

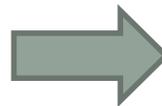


Trajectory based  
Operation

# 背景: 航空監視システム



- ・ 単独運用方式
- ・ 単一監視モデル



- ・ 連携運用方式
- ・ 多様監視モデル

# Agenda

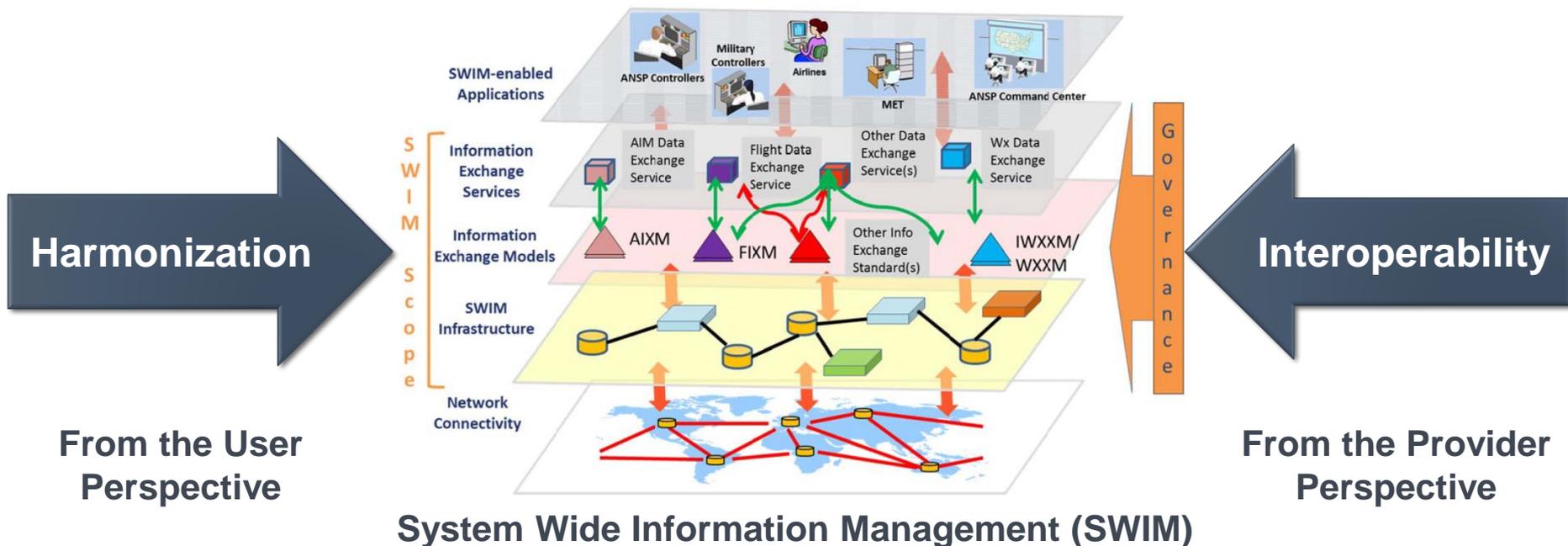
---

1. 背景
2. SWIMによる情報共有
3. 監視情報ドメインの構築
4. 追尾精度の向上
5. 評価実験
6. まとめ

# SWIMによる情報共有

## ➤ SWIM Framework

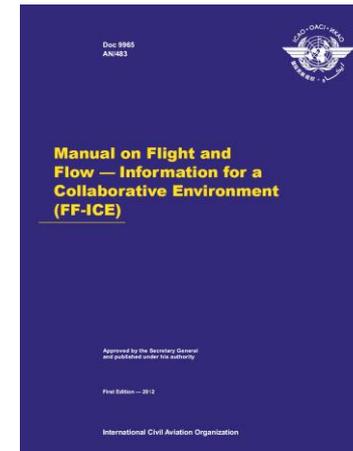
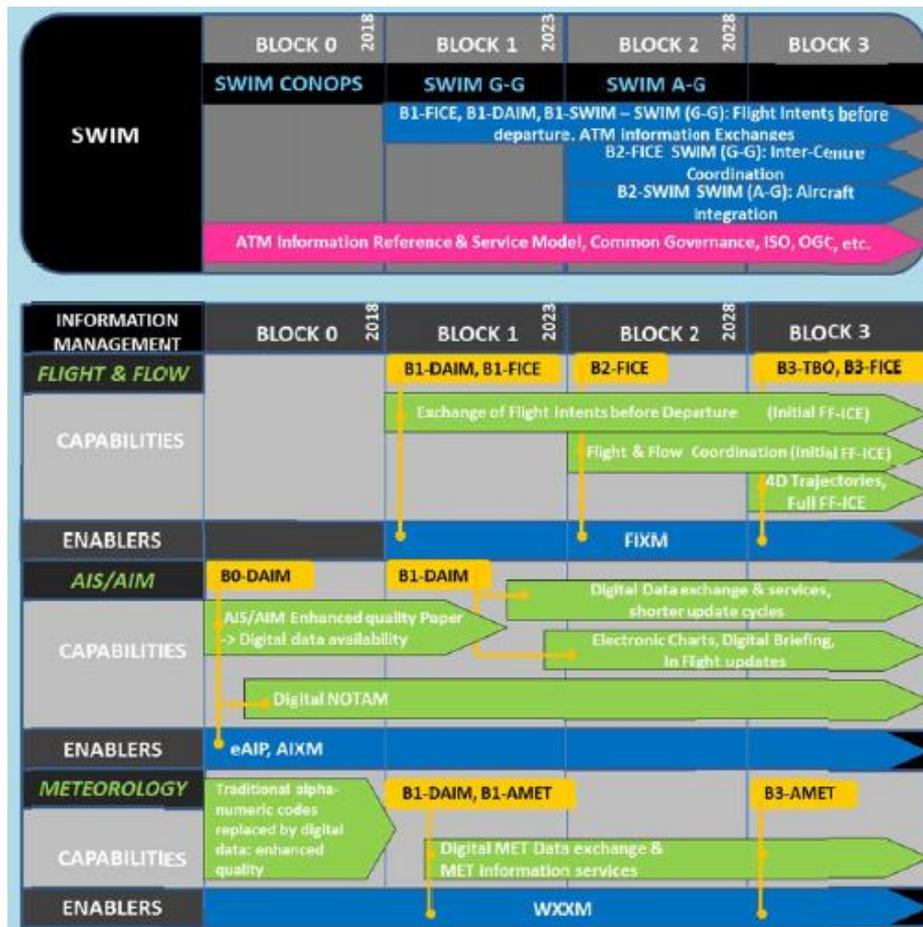
To make the global airspace system perform like a Seamless Operation



To provide a Seamless Information Experience to the user

# SWIMによる情報共有

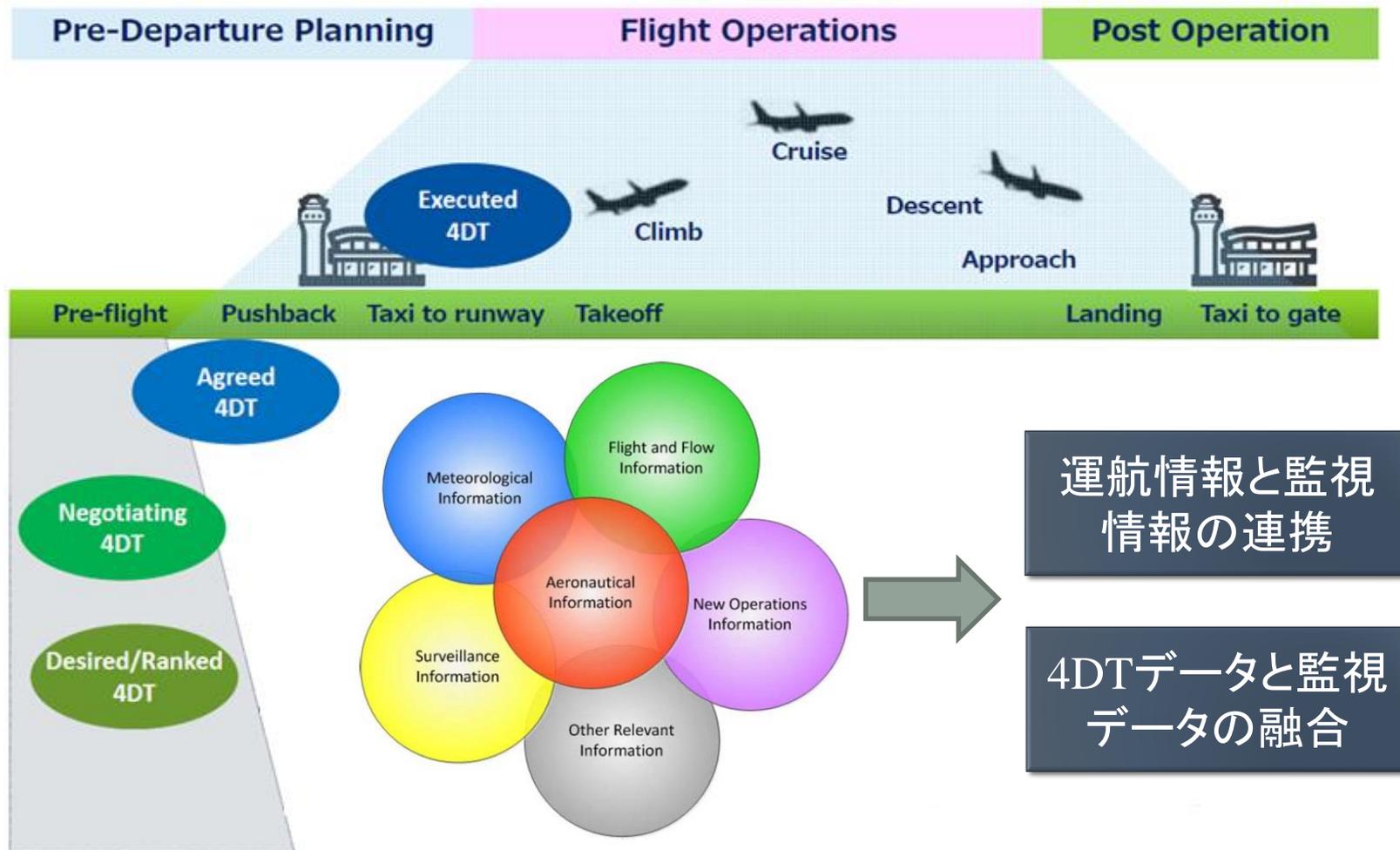
## ➤ SWIMの情報標準化



- **FIXM (Flight Information eXchangeModel)**  
 運航情報交換モデル  
<https://www.fixm.aero/>
- **AIXM (Aeronautical Information eXchangeModel)**  
 航空情報交換モデル  
<http://www.aixm.aero/>
- **IWXXM (ICAO Weather Information eXchange Model)**  
 気象情報交換モデル  
<https://www.wxsm.aero/>

# SWIMによる情報共有

## ➤ FF-ICE Step 1 (FF-ICE/1)



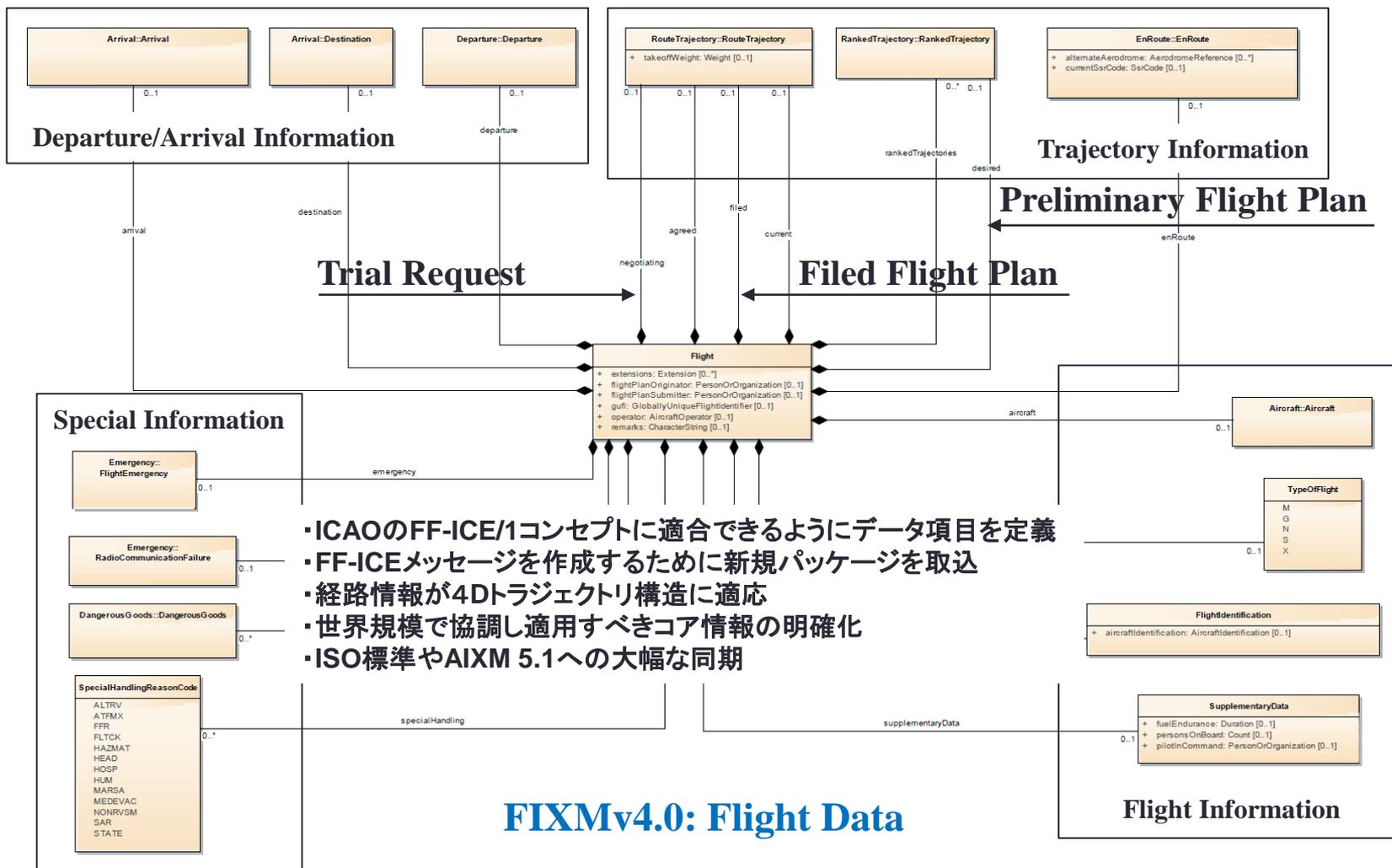
# Agenda

---

1. 背景
2. SWIMによる情報共有
3. 監視情報ドメインの構築
4. 追尾精度の向上
5. 評価実験
6. まとめ

# 監視情報ドメインの構築

## ➤ Flight and Flow Information

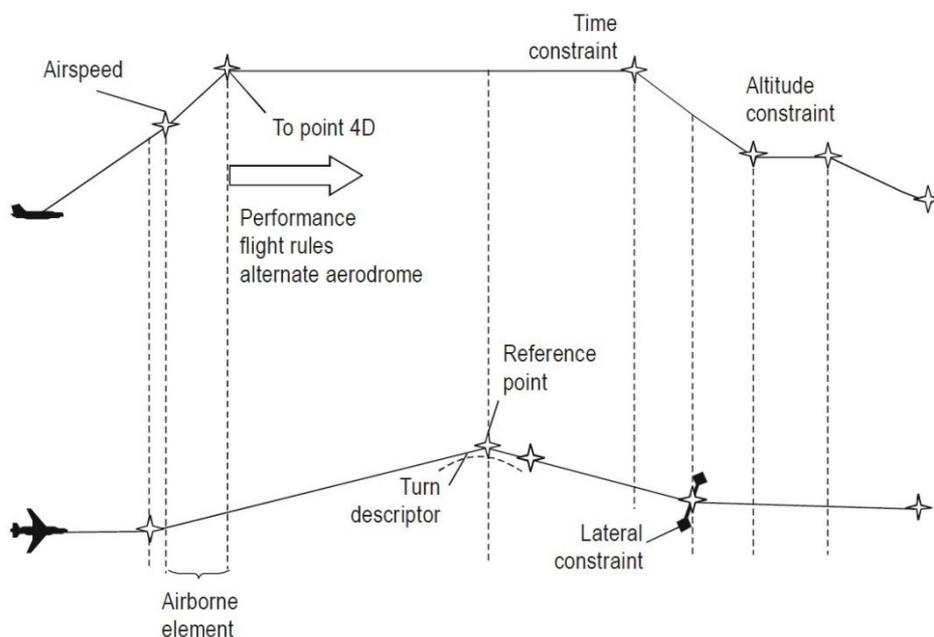


- ・ICAOのFF-ICE/1コンセプトに適合できるようにデータ項目を定義
- ・FF-ICEメッセージを作成するために新規パッケージを取込
- ・経路情報が4Dトラジェクトリ構造に適応
- ・世界規模で協調し適用すべきコア情報の明確化
- ・ISO標準やAIXM 5.1への大幅な同期

**FIXMv4.0: Flight Data**

# 監視情報ドメインの構築

## ➤ 4DT Information



**Airborne Segment of 4DT  
in FF-ICE concept**

```

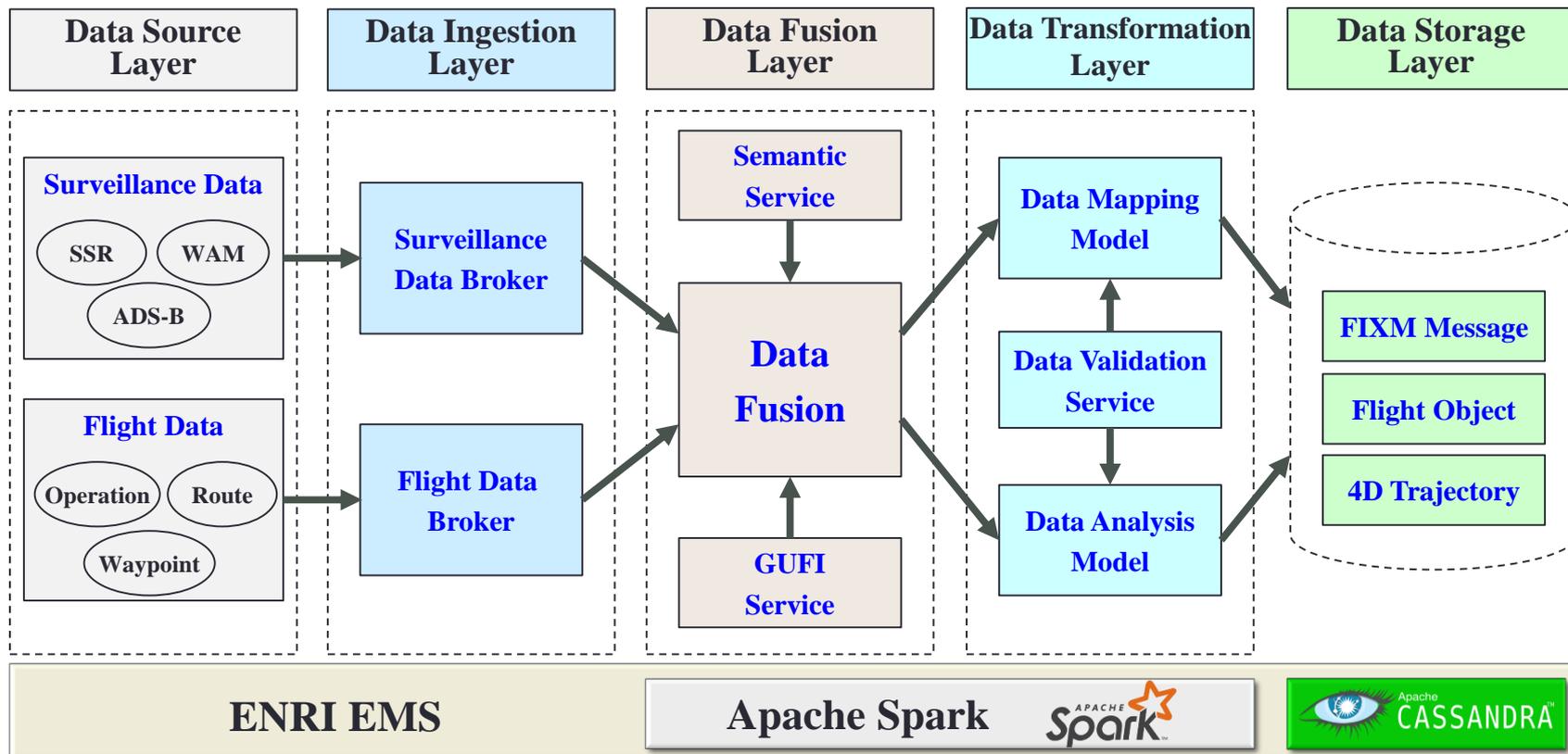
<element>
  <alongRouteDistance uom="KM">10917.018</alongRouteDistance>
  <point4D srsName="urn:ogc:def:crs:EPSG::4326">
    <fb:pos>35.849181 140.864217</fb:pos>
    <level>
      <fb:flightLevel uom="FL">93.0</fb:flightLevel>
    </level>
    <metData>
      <temperature uom="C">-14.3</temperature>
      <windDirection uom="DEG">138.0</windDirection>
      <windSpeed uom="M_SEC">15.17</windSpeed>
    </metData>
    <predictedAirspeed uom="KT">252.0</predictedAirspeed>
    <time>
      <relativeTimeFromInitialPredictionPoint>
        P0Y0M0DT13H12M44S
      </relativeTimeFromInitialPredictionPoint>
    </time>
  </point4D>
  <routeDesignatorToNextElement>
    <standardInstrumentArrival>ELGAR</standardInstrumentArrival>
  </routeDesignatorToNextElement>
  <routePoint xsi:type="fb:DesignatedPointOrNavaidType" designator="MELON" />
</element>

```

**Element of 4DT Point in  
FF-ICE Flight Plan Message**

# 監視情報ドメインの構築

## データ融合システム



情報連携により高精度な追尾や軌道予測が可能

# 監視情報ドメインの構築

## データ融合システム

The screenshot displays the ENRI SWIM Flight Viewer interface. The main map shows flight tracks over Japan, with a red dashed line indicating a specific flight path. The interface includes a search bar, a map, and two data panels: Aircraft Details and Received FIXM Messages.

**GUPI (グローバル運航管理の唯一識別子) による Flight Object の管理**

**Aircraft Details**

Time	2017-03-06T09:36:10.800Z
GUPI	bff45263-1d17-412b-9b71-87fe5d02d490
ACID	UAL138
Latitude	35.982
Longitude	142.390
Bearing	64.396
Altitude	28000.0
Speed	595.239
Airline	UAL
Departure Airport	RJAA
Departure Time	2017-03-06T09:15:00Z
Arrival Airport	KDEN
Arrival Time	2017-03-06T19:45:00Z
Route	CUPID Y808 ALLEN Y812 SCORE R591 ADNAP OTR5 KALNA G344 KALIG G344 CUTEER CARTO G344 CHIPT G344 CRYPT 5500N/16000W 5300N/15000W 5000N/14000W 4700N/13000W SEDAR KS84G ILR KU75K KU72M KU690 NLSN J56 CHE KAILE2

**Received FIXM Messages** (Total: 102)

No	Type	Time	Latitude	Longitude	Altitude	Bearing	Speed
1	TRACK	2017-03-06T09:36:08.423Z	35.763	140.379	0.0	336.995	7.910
2	TRACK	2017-03-06T09:36:19.502Z	35.763	140.379	0.0	336.995	6.372
3	TRACK	2017-03-06T09:37:38.711Z	35.765	140.378	0.0	336.995	3.955
4	TRACK	2017-03-06T09:39:58.473Z	35.768	140.376	0.0	336.995	5.933
5	TRACK	2017-03-06T09:40:08.847Z	35.768	140.376	0.0	336.995	6.372
6	TRACK	2017-03-06T09:40:18.653Z	35.768	140.375	0.0	336.995	4.395
7	TRACK	2017-03-06T09:40:28.344Z	35.768	140.375	0.0	336.995	4.395
8	TRACK	2017-03-06T09:50:29.985Z	35.743	140.391	925.0	149.496	183.252
9	TRACK	2017-03-06T09:50:39.201Z	35.738	140.394	1175.0	148.997	184.351
10	TRACK	2017-03-06T09:50:48.869Z	35.730	140.401	1700.0	149.398	182.373

**運航情報の抽出、監視データからFIXMメッセージへの変換 .....**

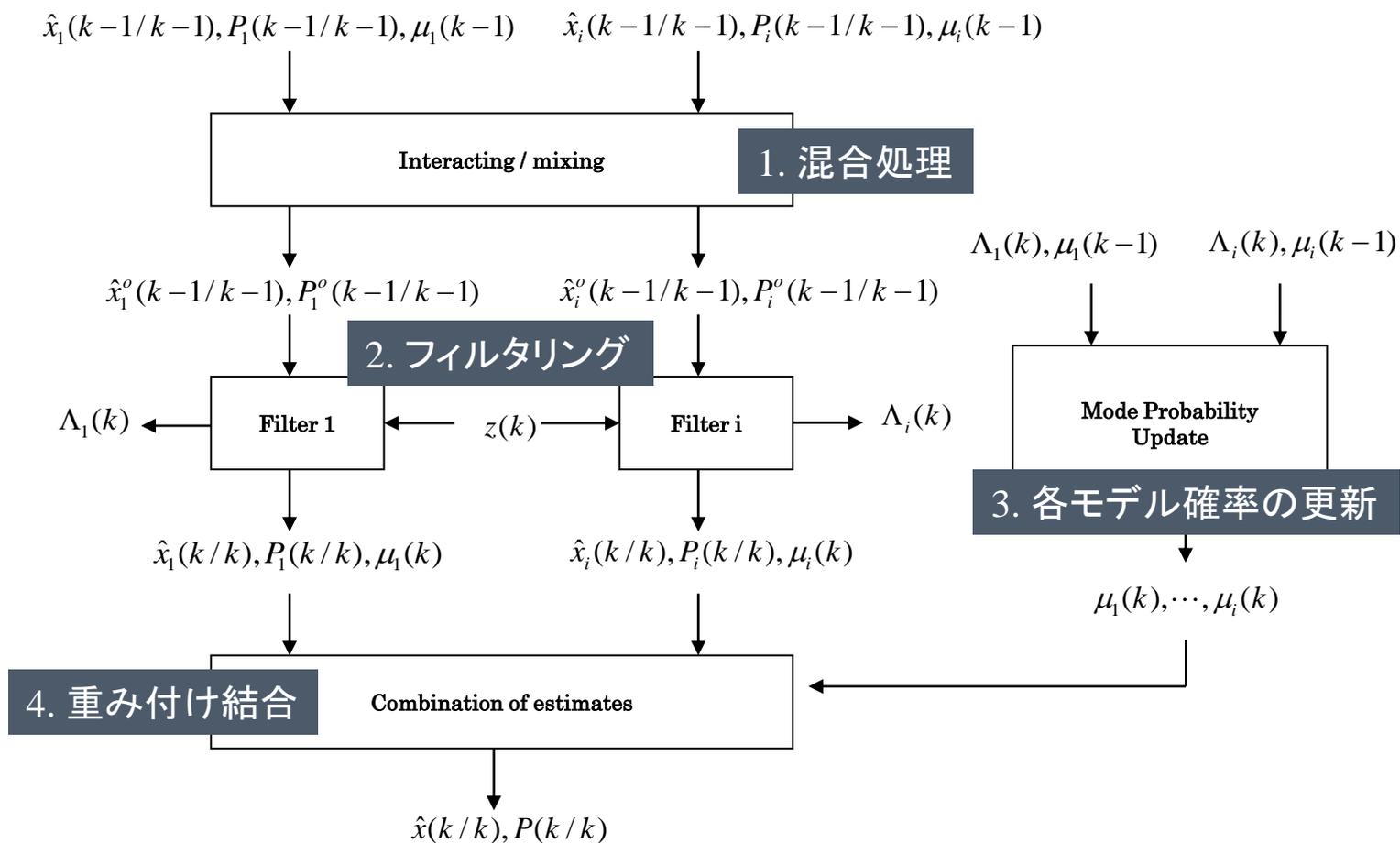
# Agenda

---

1. 背景
2. SWIMによる情報共有
3. 監視情報ドメインの構築
4. 追尾精度の向上
5. 評価実験
6. まとめ

# 追尾精度の向上

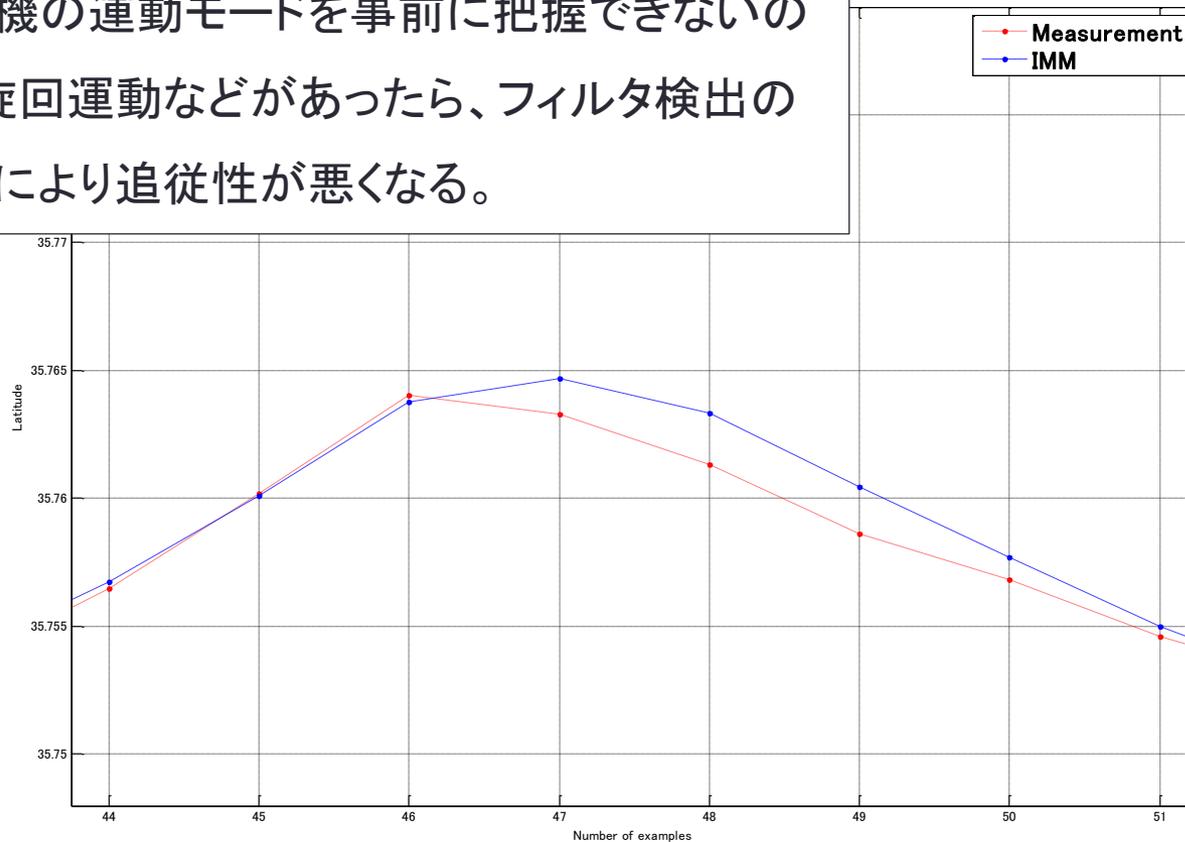
## ➤ IMM (Interacting Multiple Model) Filter



# 追尾精度の向上

## ➤ IMM Filterの問題

- 飛行機の運動モードを事前に把握できないので、旋回運動などがあつたら、フィルタ検出の遅れにより追従性が悪くなる。



# 追尾精度の向上

## ➤ 飛行機の運動モデル

### Constant Velocity (CV)

$$x(k+1) = \begin{bmatrix} 1 & T & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} x(k) + \begin{bmatrix} \frac{T^2}{2} & 0 & 0 \\ T & 0 & 0 \\ 0 & \frac{T^2}{2} & 0 \\ 0 & T & 0 \\ 0 & 0 & T \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} v(k)$$

### Constant Descent (CD)

$$x(k+1) = \begin{bmatrix} 1 & T & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} x(k) + \begin{bmatrix} \frac{T^2}{2} & 0 & 0 \\ T & 0 & 0 \\ 0 & \frac{T^2}{2} & 0 \\ 0 & T & 0 \\ 0 & 0 & \frac{T^2}{2} \\ 0 & 0 & T \end{bmatrix} v(k)$$

### Coordinated Turn (CT)

$$x(k+1) = \begin{bmatrix} 1 & \frac{\sin(\omega T)}{\omega} & 0 & -\frac{1-\cos(\omega T)}{\omega} & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\omega T) & 0 & -\sin(\omega T) & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1-\cos(\omega T)}{\omega} & 1 & \frac{\sin(\omega T)}{\omega} & 0 & 0 \\ 0 & \sin(\omega T) & 0 & \cos(\omega T) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} x(k) + \begin{bmatrix} \frac{T^2}{2} & 0 & 0 \\ T & 0 & 0 \\ 0 & \frac{T^2}{2} & 0 \\ 0 & T & 0 \\ 0 & 0 & T \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} v(k)$$

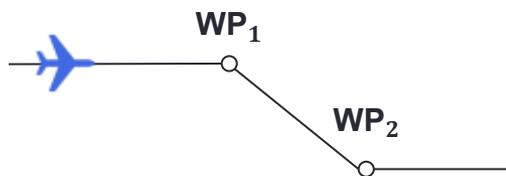
$x(k)$ : 状態関数;  $v(k)$ : 雑音共分散;  $T$ : 観測周期;  $\omega$ : Turn rate

# 追尾精度の向上

## ➤ 状態遷移モデル

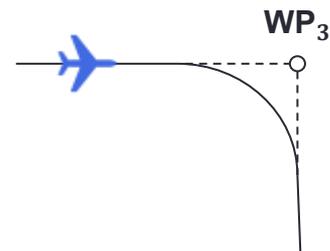
Waypointで飛行機の状態遷移:  $(WP_n, M_{ij})$

- $WP_n$ : 抽出されたWaypoint,  $(n=1, \dots, N)$
- $M_{ij}$ : 飛行機の運動状態遷移, Mode  $i \rightarrow$  Mode  $j$
- CV: Mode 1; CD: Mode 2; CT: Mode 3



(a) Fly-over mode

$(WP_1, M_{12}) \rightarrow (WP_2, M_{21})$



(b) Fly-by mode

$(WP_2, M_{21}) \rightarrow (WP_3, M_{13})$

# 追尾精度の向上

---

## ➤ Hybrid Estimation

### ・ 各モデル確率の計算

*if  $(|x(k) - WP_n| < e_n \ \& \ i \neq j)$ , then*

*if  $j = 1$ , then  $\mu_1(k + 1) = P_1 P P_1^T$*

*if  $j = 2$ , then  $\mu_2(k + 1) = P_2 P P_2^T$*

*if  $j = 3$ , then  $\mu_3(k + 1) = P_3 P P_3^T$*

- $e_n$  : Waypoint  $n$ での不確定誤差
- $\mu_1(k+1), \mu_2(k+1), \mu_3(k+1)$  : 時刻(k+1)に各モデルの確率
- $P_1 = [1 \ 0 \ 0], P_2 = [0 \ 1 \ 0], P_3 = [0 \ 0 \ 1]$  : 各モデルの正規化行列

### ・ 不確定誤差

- Required Navigation Performance (RNP)の性能要件で決める
- 履歴監視データの分析により不確定誤差の算出

# Agenda

---

1. 背景
2. SWIMによる情報共有
3. 監視情報ドメインの構築
4. 追尾精度の向上
- 5. 評価実験**
6. まとめ

# 評価実験

---

## ➤ Comparison

### - Parameters

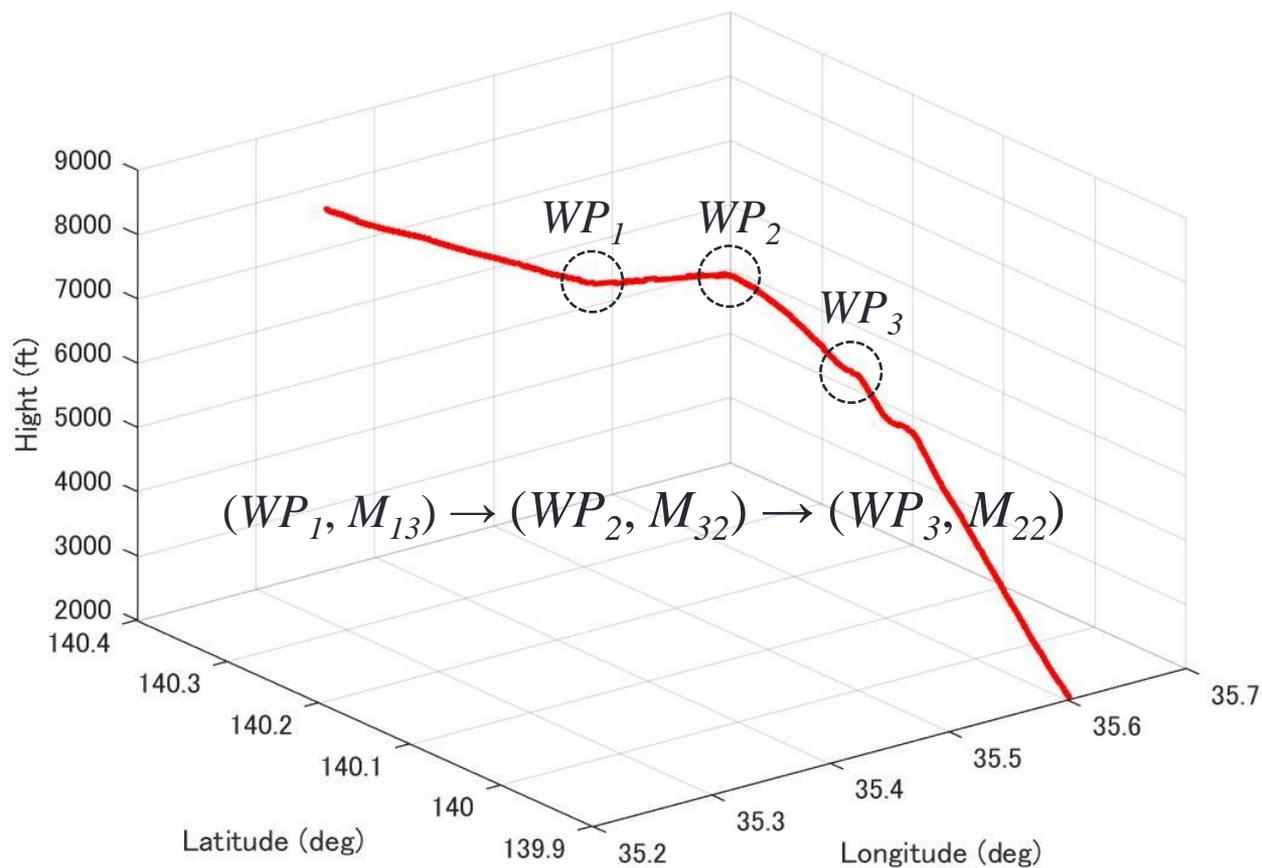
Model	Process noise	Measurement noise
Constant velocity	0.01g	30m
Constant descent	g	
Coordinated turn	0.1g	

### - Model transition probabilities

$$P = \begin{bmatrix} 0.95 & 0.025 & 0.025 \\ 0.025 & 0.95 & 0.025 \\ 0.025 & 0.025 & 0.95 \end{bmatrix}$$

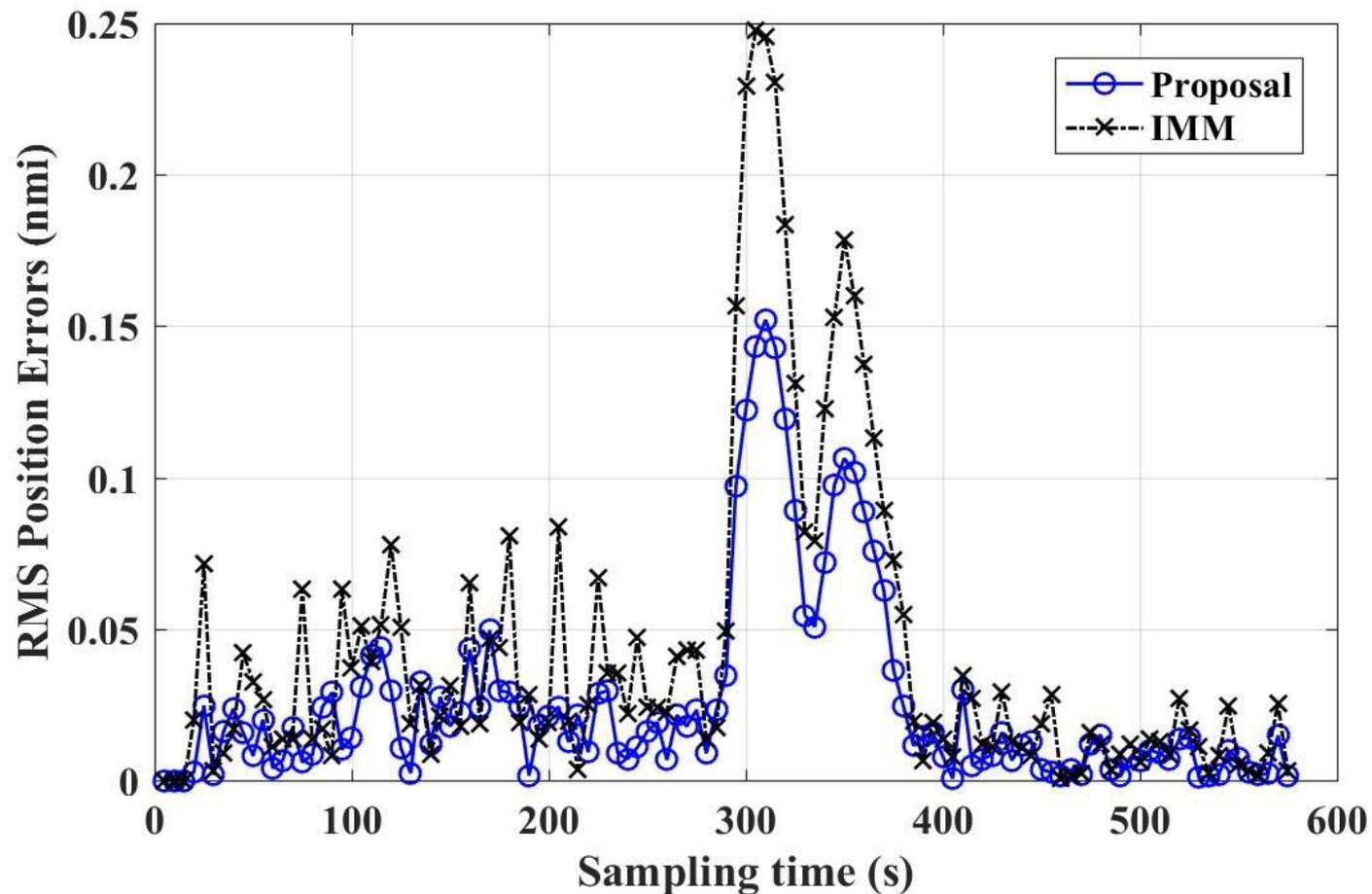
# 評価実験

## ➤ Trajectory



# 評価実験

## ➤ Computer simulations: RMS Position errors



# Agenda

---

1. 背景
2. SWIMによる情報共有
3. 監視情報ドメインの構築
4. 追尾精度の向上
5. 評価実験
6. まとめ

# まとめ

---

## 背景

- 航空交通量の増加
- 情報通信技術の進化

## ニーズ

- 高精度な航空交通監視や軌道予測
- 情報連携による軌道ベース運航

## 提案

- 監視情報ドメインの構築により情報連携の実現
- 運航データとの融合により追尾精度の向上

## 課題

- 気象情報や航空情報などを含む異種情報の連携
- SWIMによる新しいサービスの創出

ご清聴ありがとうございます

---

