



SWIMオントロジーの構築と応用 に関する研究

江上周作, ※呂曉東, 古賀禎, 住谷泰人, 森岡和行, 北折潤

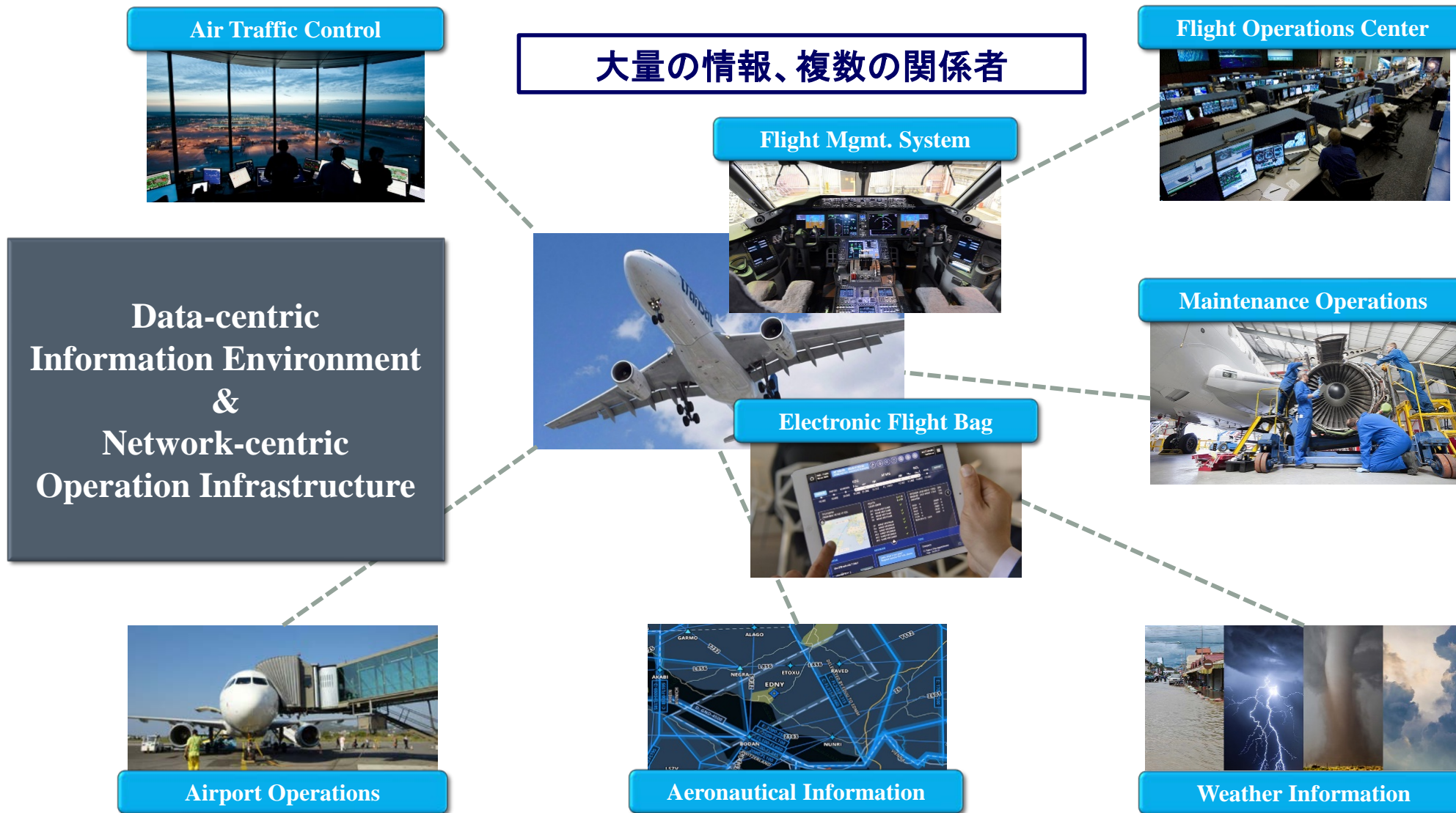
国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

電子航法研究所 監視通信領域

Agenda

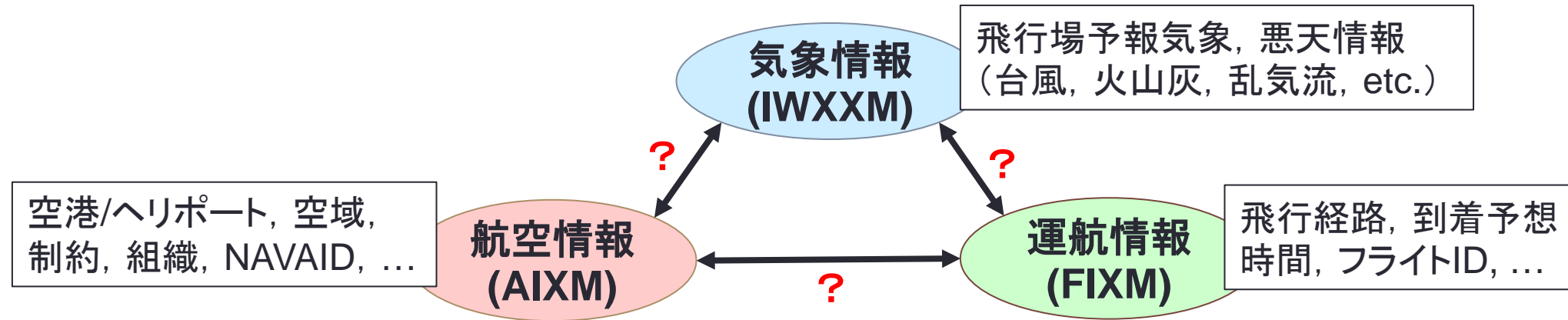
1. はじめに
2. **オントロジーの構築**
3. **SWIMにおけるオントロジーの応用**
4. **評価**
5. **まとめ**

背景: 高度情報化



課題

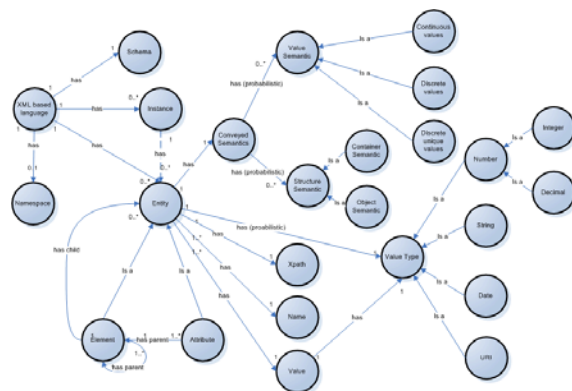
- 相互運用性の実現が困難
 - Technical Interoperability → 統一的な技術標準
 - Semantic Interoperability → 統一的な情報定義
 - Process Interoperability → 統一的な運用ルール



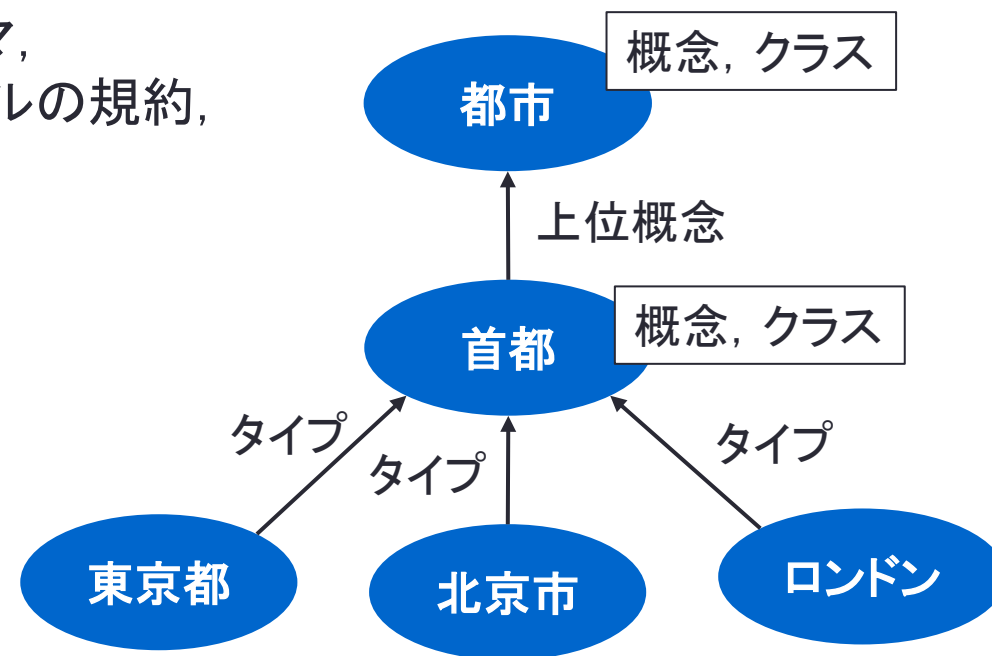
➡ 異なる情報交換モデル間の相互運用性のために「オントロジー」が使用されている

オントロジーとは

- コンピュータが情報の意味（セマンティクス）を理解できるように、対象とする領域の事物に関する概念，概念間の上位-下位の階層関係（is-a関係），is-a関係以外の，意味的な制約などを記述する知識表現の形態である．
- オントロジーの利用形態
 - 共通語彙，意味検索，インデックス，データスキーマ，知識共有の媒体，情報分析，情報抽出，知識モデルの規約，知識の体系化など[古崎 09]



知識をグラフ構造で表現



グラフ構造例

関連研究

- **FAA, NASA**

- 航空交通管理(ATM)のためのオントロジーatmonto[Keller 17]
- atmontoに基づく大規模なナレッジグラフATMGRAPH[Keller 19]
- サービス指向アーキテクチャ(SOA)に基づくSWIMのサービス間連携に向けた, Web Service Description Ontological Model (WSDOM)を定義している [Kaplun 15]
- セマンティックWeb技術を使用して開発された成果を公開するための語彙 semantics.aeroを提供している

- **SESAR BESTプロジェクト**

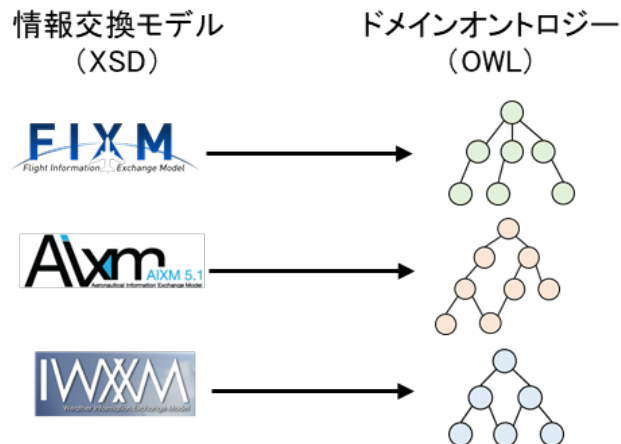
- セマンティック技術によりSWIMのメリットの最大化を目指し, AIXM, IWXXM, AIRMの一部を対象にOWL化している[Neumayr 17]
- AIRMのOWLとatmontoのオントロジーマッチングの試み[Vennesland 19]

本研究の全体像

- SWIMには異なる情報交換モデルが混在しており、意味的な相互運用性が課題であるため、オントロジーなどのセマンティック技術により解決する

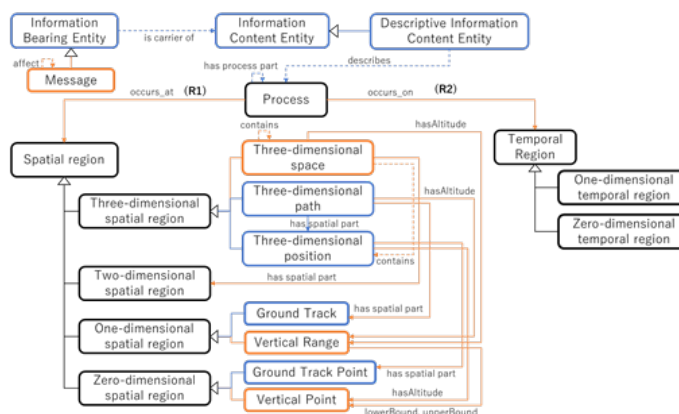
SWIMで使用される
3つのモデルを対象とし、
オントロジーを構築

①ドメインオントロジーの構築



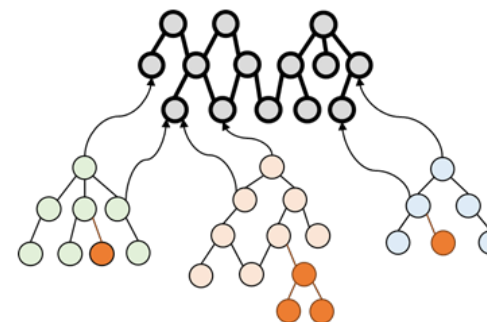
時間(瞬間,間隔), 空間
(0D,1D,2D,3D)を区別し,
包含関係を定義

②参照オントロジーを設計



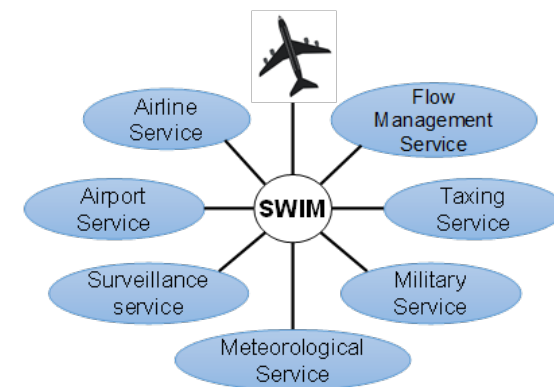
構造の不一致を洗練し
てマッピングするための
方法を提案

③ドメインオントロジーの洗練と 参照オントロジーへマッピング



異種情報間検索や相互
運用性の観点から評価

④SWIMテストシステムに応用

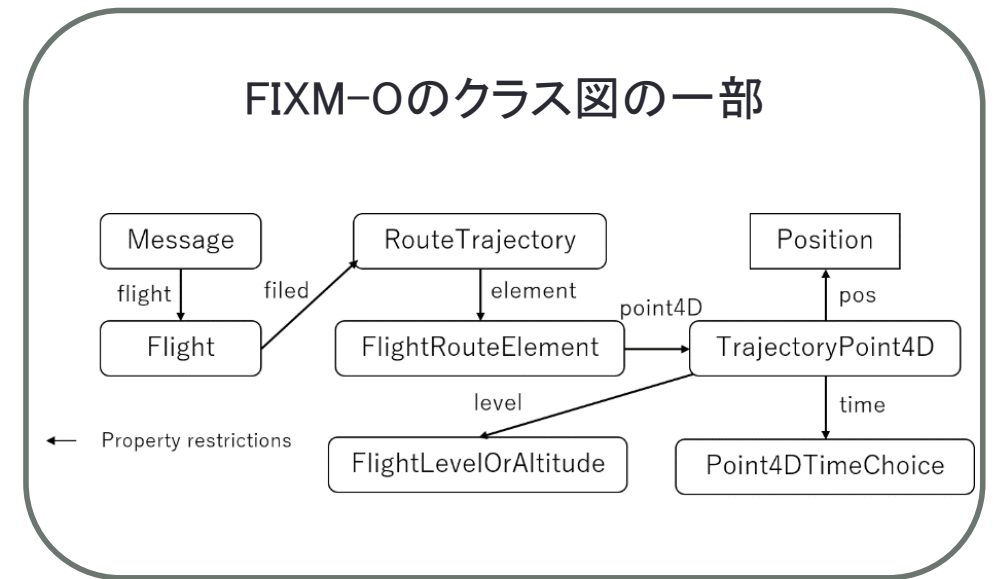
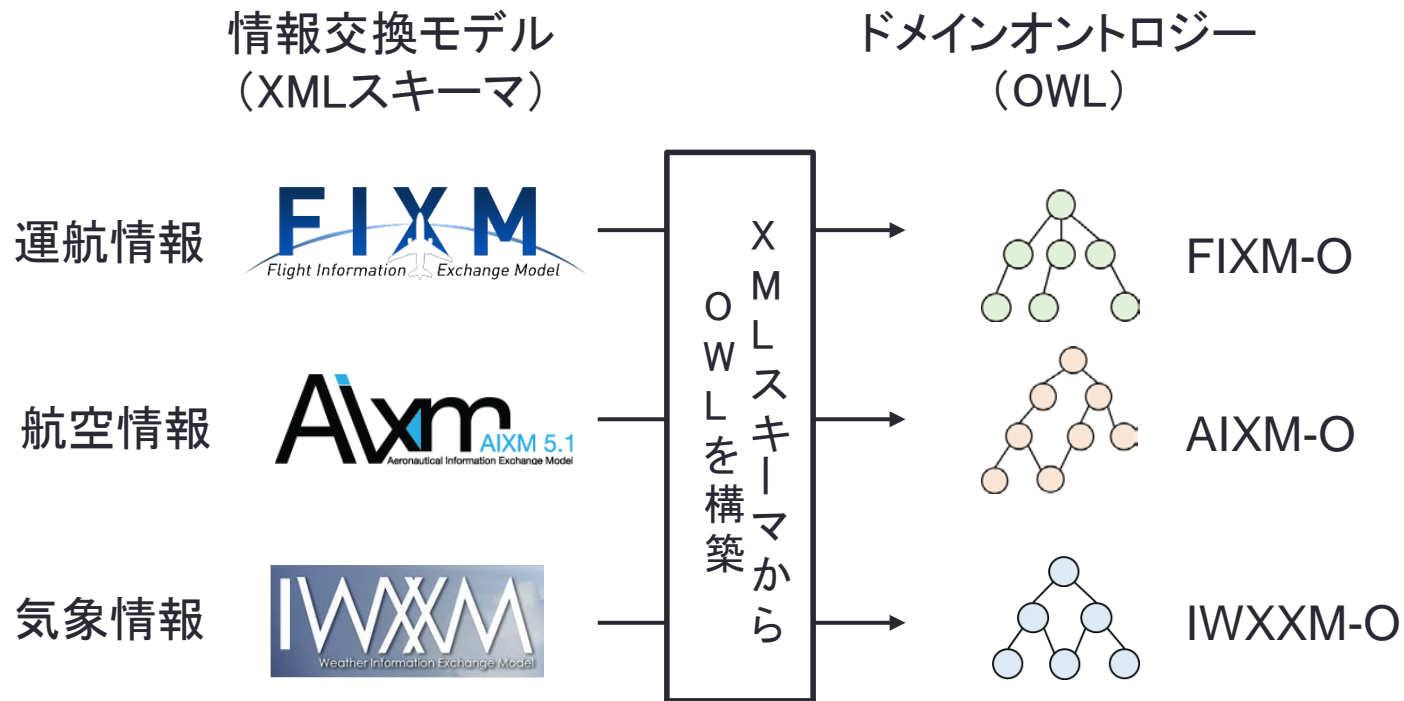


Agenda

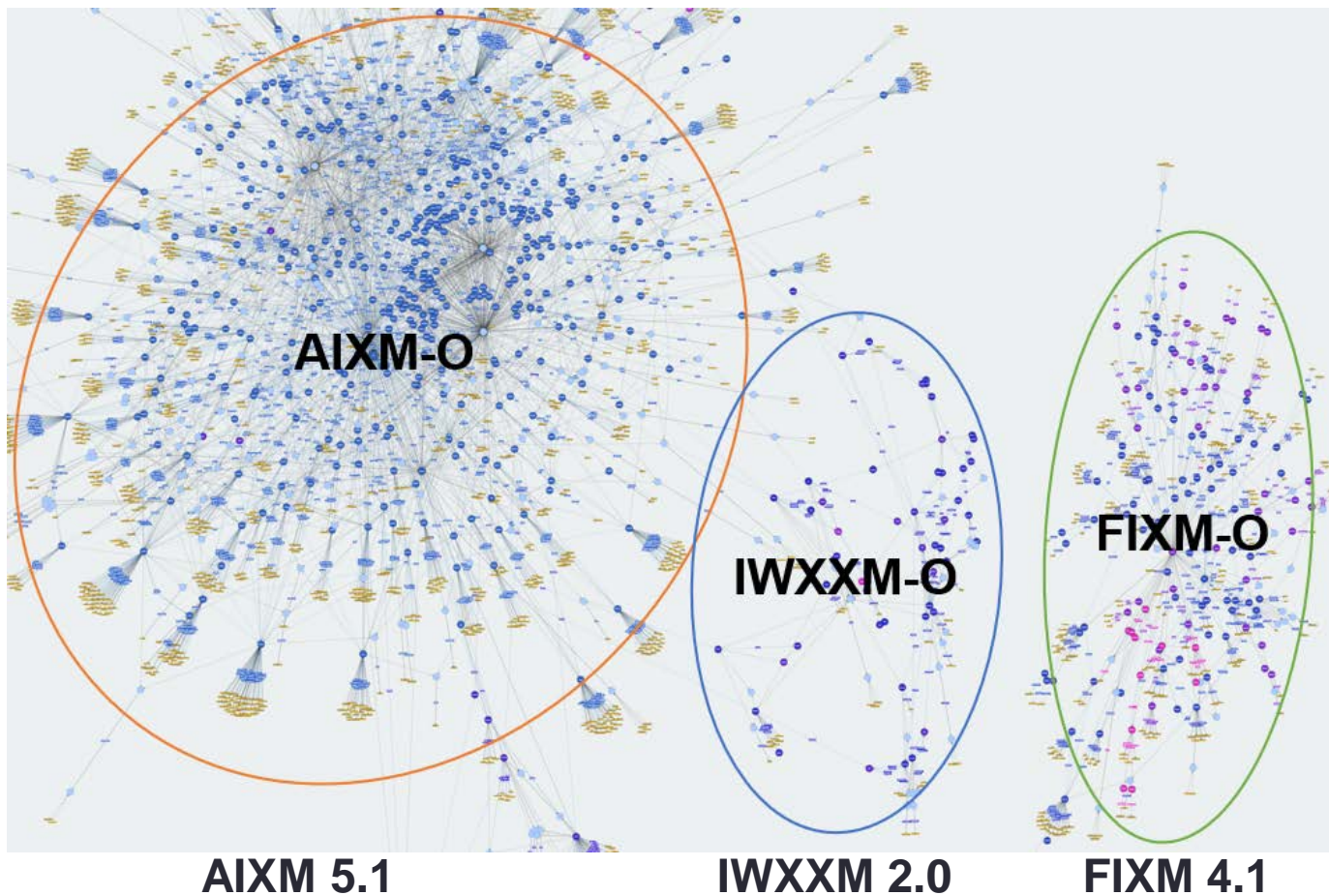
1. はじめに
2. **オントロジーの構築**
3. **SWIMにおけるオントロジーの応用**
4. **評価**
5. **まとめ**

XMLスキーマに基づくオントロジーの構築

- 情報交換モデル (FIXM, AIXM, IWXXM) はXMLスキーマで定義あり, これに基づくオントロジーをWeb Ontology Language (OWL)形式で構築

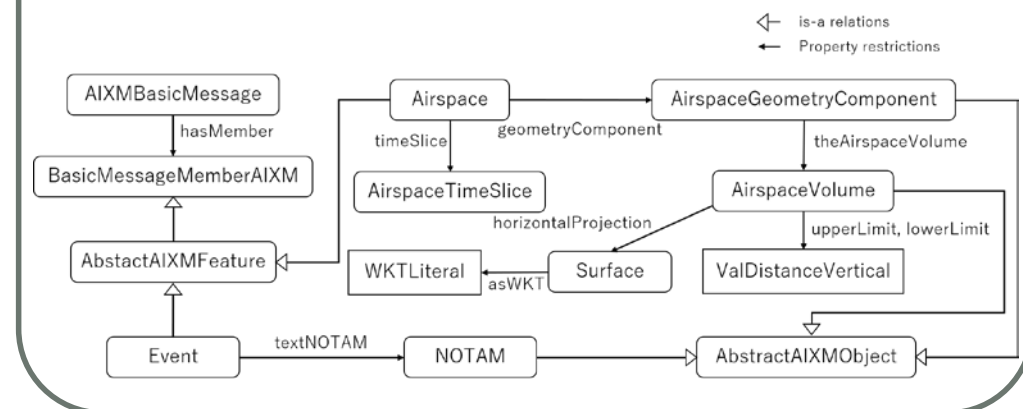


各領域(ドメイン)のオントロジー

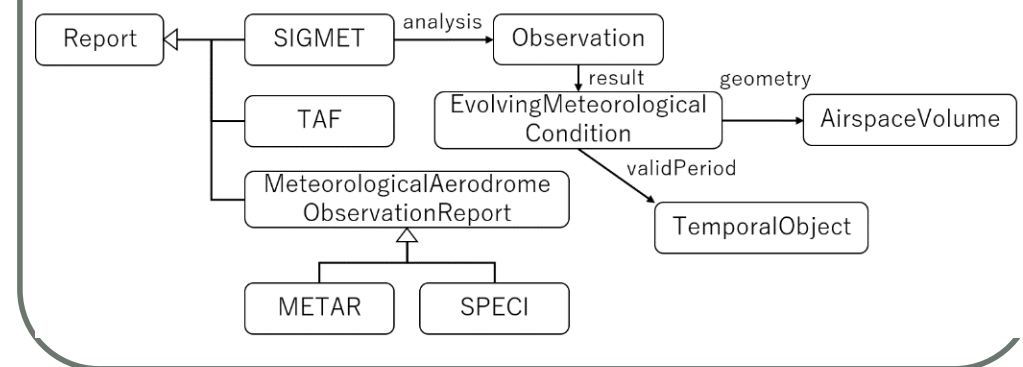


グラフ構造

AIXM-Oのクラス図の一部

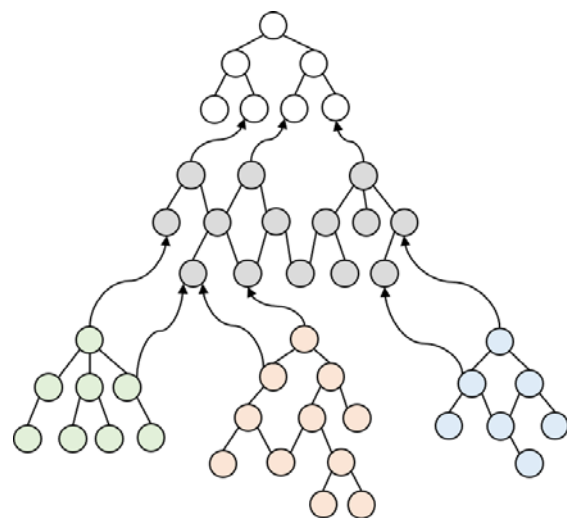


IWXXM-Oのクラス図の一部



SWIMオントロジーの構築

- 今後は四次元軌道(4DT)で運航を管理する軌道ベース運用(TBO)へ移行することが計画されており, SWIMで交換される情報の種類も増えることが予想される
 - SWIM環境で交換される時間的情報(間隔, 瞬間)と空間的情報(三次元, 二次元, 一次元, 零次元)を区別してシステムが共通認識を持つことが重要
 - 今後追加される情報交換モデルにも対応できるような拡張性が重要
- ⇒ 参照オントロジーとして「SWIMONTO」を構築し, 各ドメインオントロジーをマッピング



上位オントロジー
(ISO標準になりつつあるBFO[Smith 05]を利用)

SWIMONTO
(中位オントロジーのCCO[Rudnicki 17]を拡張)

ドメインオントロジー
(FIXM-O, AIXM-O, IWXXM-O)

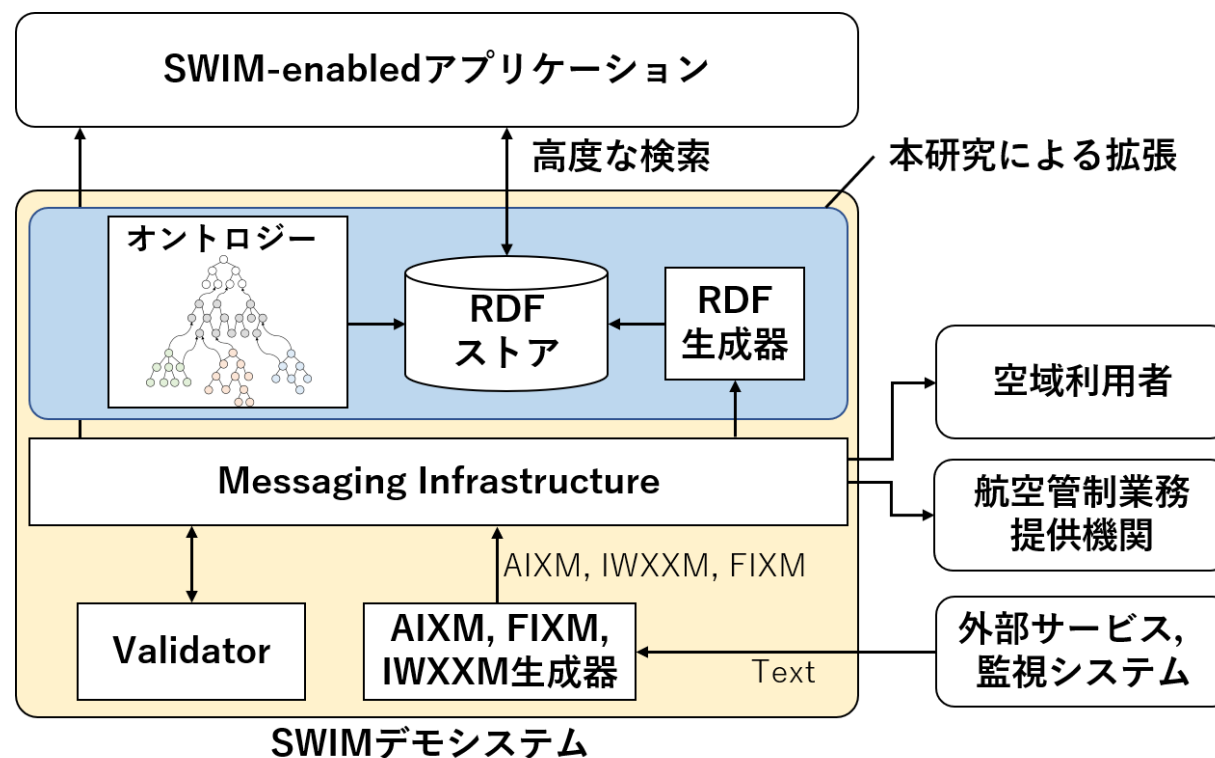
本研究におけるオントロジーの全体像

Agenda

1. はじめに
2. オントロジーの構築
3. **SWIMにおけるオントロジーの応用**
4. **評価**
5. **まとめ**

SWIMテストシステムに導入

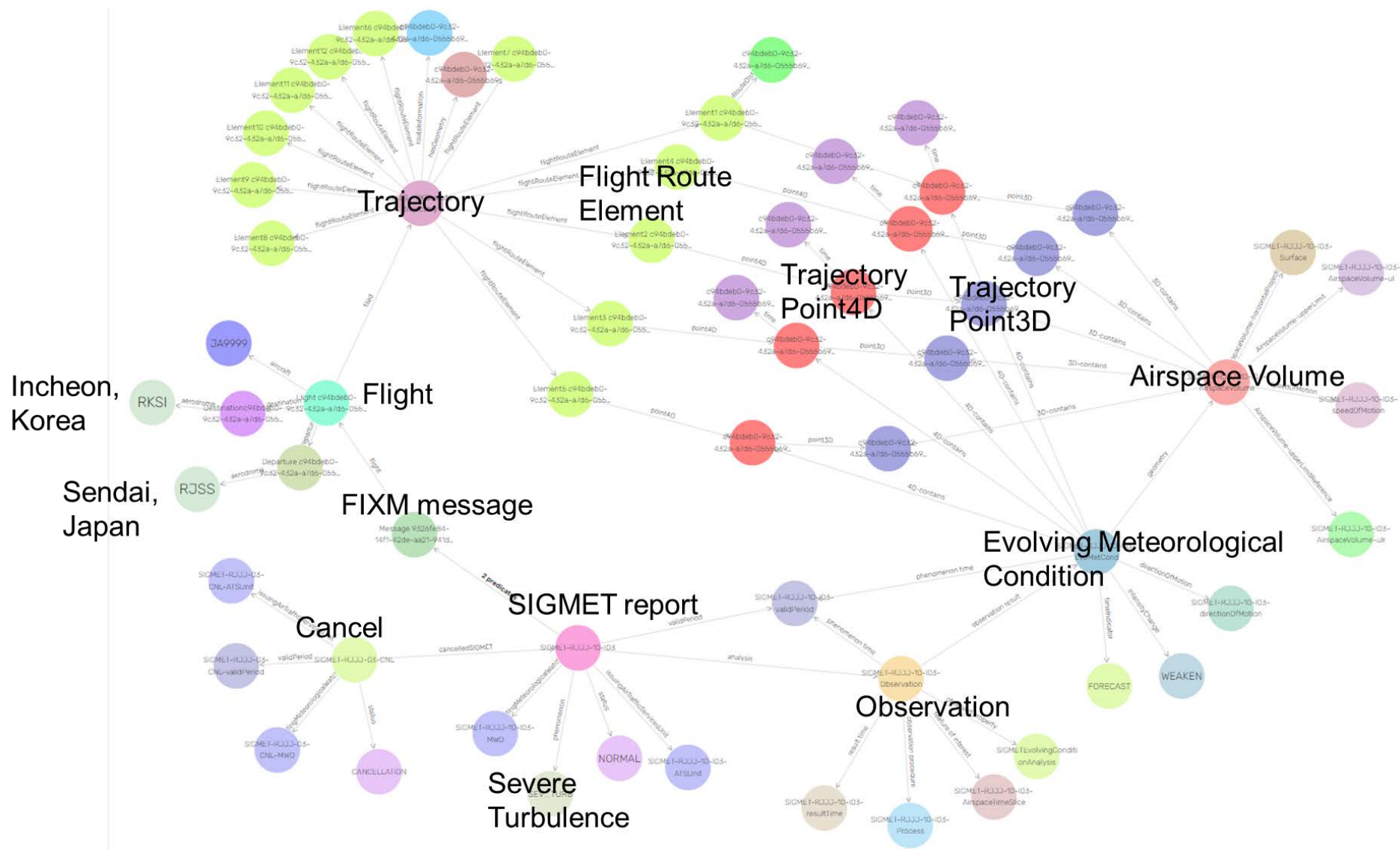
- これまで我々はSWIMテストシステムを開発し、シナリオベースによるFF-ICE検証実験を行っている[呂 18][Lu 19]
- 本研究では下図のとおりSWIMテストシステムを拡張



オントロジーに基づくナレッジグラフの生成

- オントロジーは概念(クラス)間の関係を定義したスキーマであるため, 個体データ(インスタンス)をグラフ形式で生成して格納する必要がある
 - ⇒ RDF (Resource Description Framework) 形式で各データを知識グラフ(ナレッジグラフ)として格納
- 2019年5月29日～6月24日の国内におけるAIXM, IWXXMデータを収集し, 約2万トリプルのRDFを生成しトリプルストア(RDFデータベース)に格納
 - AIXMは緯度経度情報が取得できるもののみ
- 運航情報に関しては模擬FIXMシナリオデータ9件をRDF化し格納
 - 約6千トリプル

生成したナレッジグラフの一部



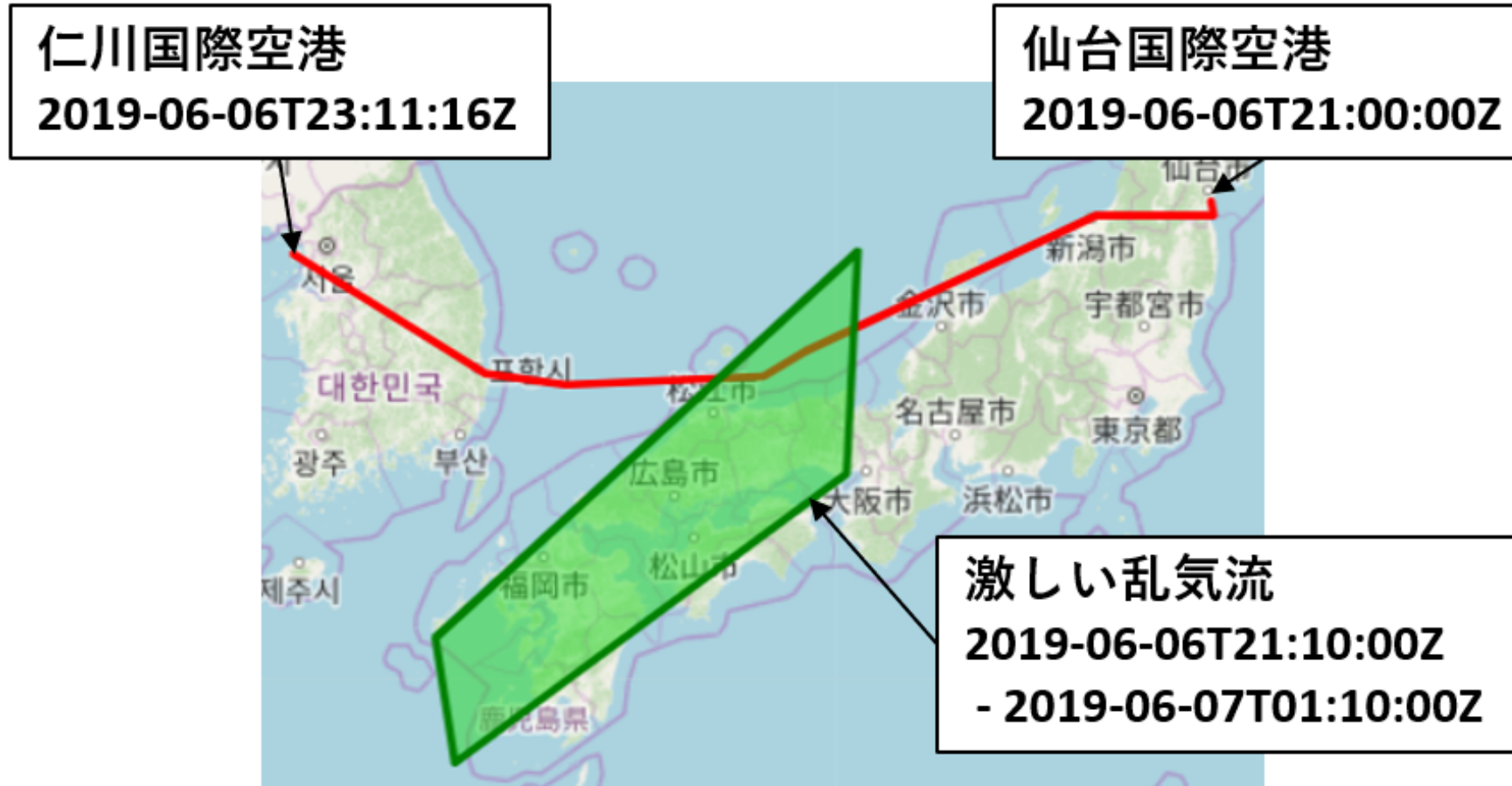
運航関連情報の横断的検索例: SPARQL

- 指定したフライトのFIXMメッセージに四次元的に影響を与えている異種情報をSPARQLというクエリ言語を用いて検索
 - 飛行計画の指定にはGlobally Unique Flight Identifier (GUFI)という一意な識別子を使用

```
1 SELECT ?message1 ?message2
2 WHERE {
3   ?message1 so:affect ?message2 .
4   ?message2 ro:0010002 ?flight .
5   ?flight fl:gufi "c94bdeb0-9c32-432a-a7d6-0555b69d080d" .}
```

1件の悪天情報がヒット (飛行計画再設計の必要性が高い)

運航関連情報の横断的検索例



シナリオ： 6月6日21時00分仙台国際空港発，23時11分仁川国際空港着

運航関連情報の横断的検索例: SPARQL

- 航空機通過時間前に飛行経路上のウェイポイントに影響を与える事象に関するメッセージを検索
 - 気象変化, 計画変更すると影響を受ける

```
1 SELECT distinct ?message1 ?message2 WHERE {
2   ?message1 ro:0010002/cc:describes ?process1 .
3   ?process1 cco:occurs_at ?asv1 ;
4             cco:occurs_on ?time1 .
5   ?asv1 so:contains ?point1 .
6   ?message2 ro:0010002/cc:describes ?process2 .
7   ?process2 cco:has_process_part ?process2a .
8   ?process2a cco:occurs_at ?point1 ;
9              cco:occurs_on ?time2 .
10  ?time1 time:hasBeginning/time:inXSDDateTime ?begin1 ;
11         time:hasEnd/time:inXSDDateTime ?end1 .
12  ?time2 fl:absoluteTime ?instant .
13  bind(xsd:dateTime(str(?instant)) as ?pt)
14  bind((?begin1 - ?pt) as ?dd1)
15  bind("PO0DT01H00M00S"^^xsd:dayTimeDuration as ?dd)
16  filter(?dd1 < ?dd && ?dd1 > "PO0DT00H00M00S"^^xsd:dayTimeDuration)}
```

オントロジーで4D, 3D, 2Dの影響関係を分けているため, フライトプランに四次元的に影響のある情報だけでなく, 時間や空間の条件を変更して柔軟な検索を行うことが可能である.

1件の悪天情報がヒット (飛行計画再設計はすぐには求められないが要注意)

Agenda

1. はじめに
2. オントロジーの構築
3. SWIMにおけるオントロジーの応用
4. **評価**
5. まとめ

評価

- 提案オントロジーにより横断的・連鎖的検索が可能になった
- モデルとしての拡張性と検索範囲の拡張性が高まり、意味的な相互運用性が向上した

表 1. SWIMテストシステムにおける検索性能の評価

ID	検索要件	手法	実行可否	拡張性
Q1	同種情報内の検索	提案手法 1	可能	-
		提案手法 2	可能	-
		既存手法	可能	-
Q2	異種情報間の四次元的な影響	提案手法 1	可能	低い
		提案手法 2	可能	高い
		既存手法	不可能	-
Q3	異種情報に三次元的に影響し、かつ時間的に近接する情報の検索	提案手法 1	可能	低い
		提案手法 2	可能	高い
		既存手法	不可能	-
Q4	異種情報に二次元的かつ時間的に影響し、かつ高度が近接する情報の検索	提案手法 1	可能	低い
		提案手法 2	可能	高い
		既存手法	不可能	-
Q5	異種情報間の四次元的な影響の連鎖的な検索	提案手法 1	部分的に可能	低い
		提案手法 2	可能	高い
		既存手法	不可能	-

- 提案手法1: 参照オントロジー無
- 提案手法2: 参照オントロジー有
- 既存手法: SESAR BESTプロジェクト

Agenda

1. はじめに
2. オントロジーの構築
3. SWIMにおけるオントロジーの応用
4. 評価
5. **まとめ**

まとめ

背景	<ul style="list-style-type: none">■ 次世代のATMに向けて, SWIMという情報共有基盤の概念をICAOが推進
課題	<ul style="list-style-type: none">■ SWIM環境で交換される異なる情報交換モデル間の連携が困難
提案	<ul style="list-style-type: none">■ 情報交換モデルに基づくオントロジーの構築■ 参照オントロジー「SWIMONTO」を開発し, マッピング手法を提案■ SWIMテストシステムに導入
結果	<ul style="list-style-type: none">■ 高い拡張性を持って横断的・連鎖的な検索が可能に■ SWIMの意味的な相互運用性が向上した
今後	<ul style="list-style-type: none">■ TBOに向けたオントロジーの拡張と洗練, 応用検討■ 検索や推論性能の評価

参考文献

- [ICAO 15] ICAO (2015), “Manual on System Wide Information Management (SWIM) Concept,” ICAO Doc 10039, ICAO.
- [古崎 09] 古崎晃司 (2009), “ドメインオントロジーの構築と利用,” 情報知識学会誌, vol.19, no.4, pp.296-305.
- [Smith 05] B. Smith, et al. (2005), “Basic Formal Ontology for Bioinformatics,” IFOMIS Reports.
- [Rudnicki 17] R. Rudnicki (2017), “An overview of the common core ontologies,” CUBRC, Inc.
- [呂 18] 呂曉東, ほか. (2018), “FF-ICE検証実験の報告と分析”, 平成30年度(第18回)電子航法研究所研究発表会, pp.71-78.
- [Lu 19] X.D. Lu, et al. (2019), “ Collaborative flight and flow information exchange to achieve seamless air traffic management operation,” IEEE Proc. of ISADS2019, pp.135-140.
- [Keller 17] R.M. Keller (2017), “The NASA Air Traffic Management Ontology: Technical Documentation,” Technical Memo, NASA/TM-2017-219526, National Aeronautics and Space Administration.
- [Keller 19] R.M. Keller (2019), “Building a Knowledge Graph for the Air Traffic Management Community,” Companion Proc. The 2019 World Wide Web Conference, pp.700-704.
- [Keplun 15] M. Keplun (2015), “FAA Web Service Description Ontological Model (WSDOM) - an Introduction,” Semantic Web for Air Transportation (SWAT) interest group, https://www.faa.gov/air_traffic/technology/swim/governance/service_semantics/media/FAA%20WSDOM%20Introduction.pdf
- [Neumayr 17] B. Neumayr, et al. (2017), “Semantic data containers for realizing the full potential of system wide information management,” Proc. IEEE/AIAA 36th Digital Avionics Systems Conference, pp.1-10.
- [Vennesland 19] A. Vennesland, et al. (2019) , “ Matching Ontologies for Air Traffic Management: A Comparison and Reference Alignment of the AIRM and NASA ATM Ontologies,” Proc. 14th International Workshop on Ontology Matching co-located with the 18th International Semantic Web Conference, pp.1-12.
- [Egami 20] S. Egami, et al. (2020), “Ontology-Based Data Integration for Semantic Interoperability in Air Traffic Management,” Proc. IEEE 14th International Conference on Semantic Computing, pp.295-302.

専門用語

略称	名称
ATM	Air Traffic Management
SWIM	System Wide Information Management
XML	Extensible Markup Language
FIXM	Flight Information Exchange Model
AIXM	Aeronautical Information Exchange Model
IWXXM	ICAO Meteorological Information Exchange Model
ICAO	International Civil Aviation Organization
OWL	Web Ontology Language
4DT	4D Trajectory
TBO	Trajectory Based Operation
BFO	Basic Formal Ontology
CCO	Common Core Ontologies
RDF	Resource Description Framework
SPARQL	SPARQL Protocol and RDF Query Language
AIRM	ATM Information Reference Model
SESAR	Single European Sky ATM Research
BEST	Benefits of SWIM by Making Smart Use of Semantic Technologies