

# 時間管理に関する将来の航空交通システムの アーキテクチャ作成

電子航法研究所 航空交通管理領域

岡 恵, 中村 陽一, 虎谷 大地, 蔭山 康太

交流研究員 永野 隆文 (三菱電機株式会社)





1. 研究の目的
2. システムズアプローチ
3. 時間管理のシステムアーキテクチャ検討
  - ステークホルダーの分析
  - ニーズの特定
  - 目的・意図の明確化
  - ソリューションニュートラル機能の検討
  - コンセプトの構築
  - アーキテクチャの構築
4. まとめ

# 研究の目的



- 安全で効率的な軌道ベース運用の実現
- 多数のシステムの連携、広範囲のステークホルダー  
→ 大規模で複雑なシステムの構築



- 全体が整合して上手く働くシステムを作ることが難しい
- ステークホルダー間で共通認識を持つことが難しい
- 開発の途中で初期の目的が失われたり議論が発散することも



大規模・複雑システムの開発に適している  
システムズアプローチの手法で  
アーキテクチャの構築

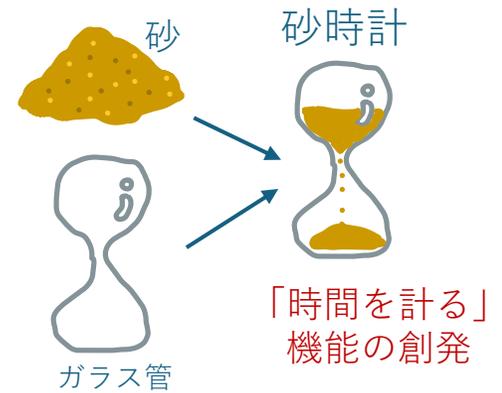
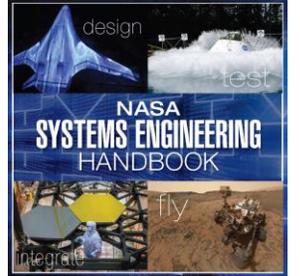


# システムズアプローチ

\*) E.クロウリー, B.キャメロン, D.セルヴァ著, 稗方 和夫訳,  
"システム・アーキテクチャ 複雑システムの構想から実現まで", 丸善出版, 2020.



- システムズアプローチはシステム思考に基づいてシステムを検討する方法
- システム思考とは, 様々な要素とそれらの関係の集合を「システム」として捉え, システムの振る舞いやパフォーマンスを理解すること\*)
- 主に宇宙開発の分野で発展 → 様々な経験から得られた知見集
- 大規模・複雑・数が限られたシステムの開発に有効
- ステークホルダーやニーズから議論を始めるニーズ志向のアプローチ
- システム = 要素 + 創発
- システム = 機能 (システムが行うこと) + フォーム (物理的なシステムそのもの)



ニーズ志向・関係に着目した俯瞰的な見方

# アーキテクチャの作成



ステークホルダー  
の分析

ニーズの特定

目標・意図の明確化

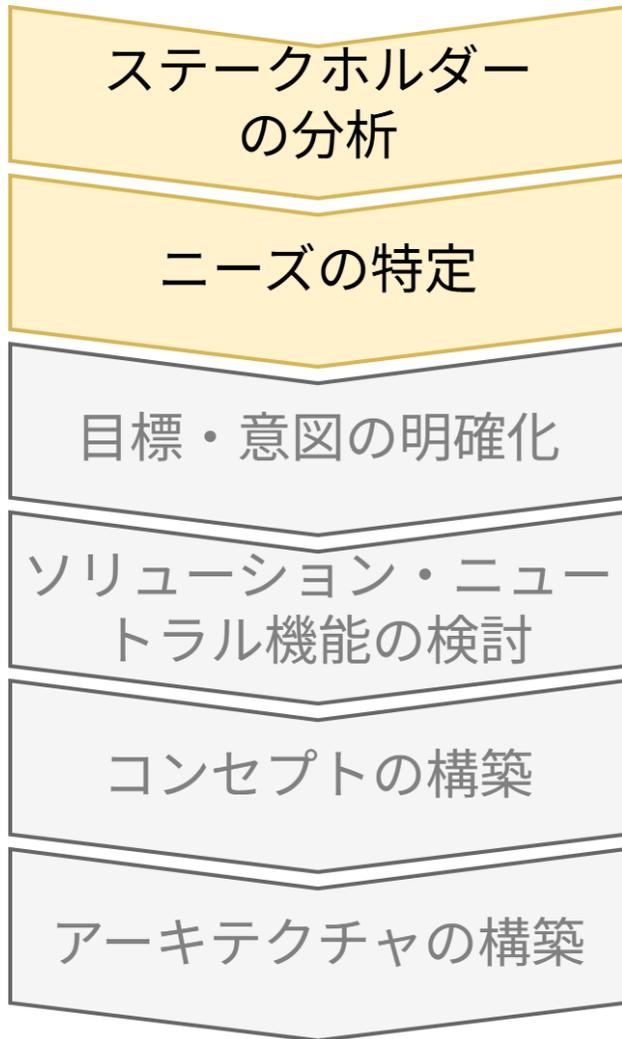
ソリューション・ニュー  
トラル機能の検討

コンセプトの構築

アーキテクチャの構築

- ステークホルダーの分析  
ステークホルダーバリューネットワークの作成
- ニーズの特定  
ステークホルダーのヒアリング結果を狩野モデルにより分析
- 目標・意図の明確化  
時間管理の各機能のシステムプロブレムステートメントを設定
- ソリューション・ニュートラル機能の検討  
時間管理に必要となる機能を実体にとらわれずに検討
- コンセプトの構築  
具体的な実現方法の選択肢の洗い出し
- アーキテクチャの構築  
時間管理アーキテクチャを構築し具体的な内容を記述

# アーキテクチャの作成



- ステークホルダーの分析  
ステークホルダーバリューネットワークの作成
- ニーズの特定  
ステークホルダーのヒアリング結果を狩野モデルにより分析
- 目標・意図の明確化  
時間管理の各機能のシステムプロブレムステートメントを設定
- ソリューション・ニュートラル機能の検討  
時間管理に必要となる機能を実体にとらわれずに検討
- コンセプトの構築  
具体的な実現方法の選択肢の洗い出し
- アーキテクチャの構築  
時間管理アーキテクチャを構築し具体的な内容を記述

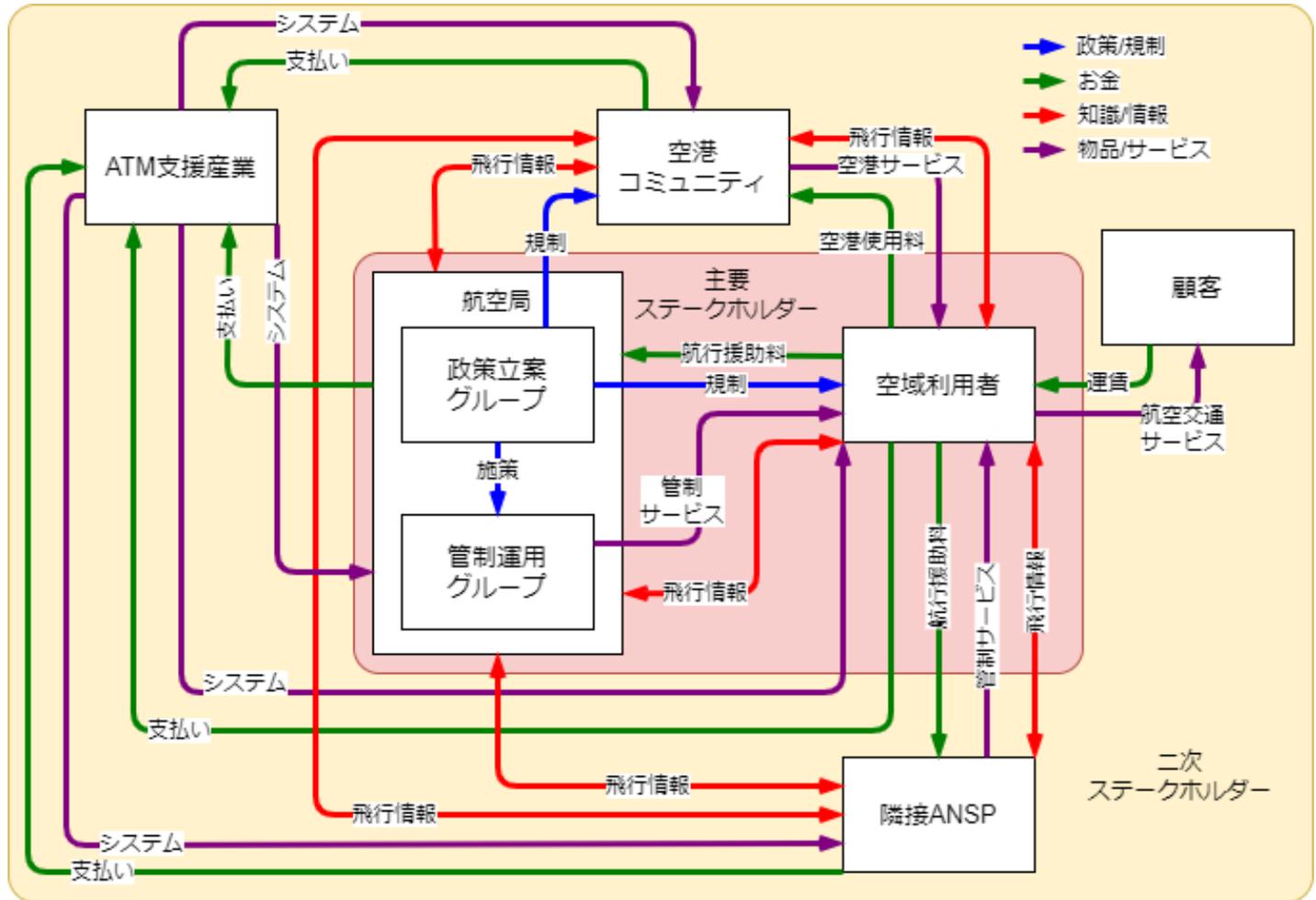
# ステークホルダーの分析



ステークホルダーバリュー  
ネットワークの作成

SVN (Stakeholder Value Network)

- 関係者の洗い出し
- 価値の流れ
  - 政策／規制
  - お金
  - 知識／情報
  - 物品／サービス
- 主要ステークホルダーの定義
  - 政策立案グループ
  - 管制運用グループ
  - 空域利用者



# ニーズの特定



- 主要ステークホルダーに対するヒアリングの実施

たとえば、テレビを購入するとき…

音量調節できるTV?…当たり前  
できないTV?…**いら**ない

→ **当たり前品質**

映像がきれいなTV?…**欲しい**  
粗いTV?…**いら**ない

→ **一元的品質**

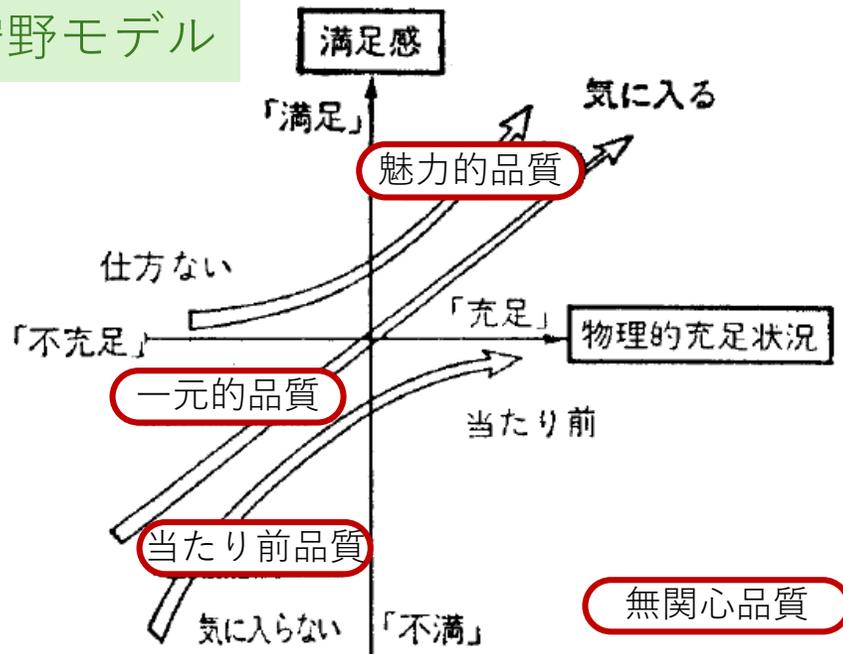
録画機能が付いたTV?…**嬉しい**  
付いていないTV?…**構**わない

→ **魅力的品質**

音声操作できるTV?…**嬉**しくない  
できないTV?…**構**わない

→ **無関心品質**

## 狩野モデル



当たり前 一元的 魅力的 無関心  
高 ← 優先順位 → 低



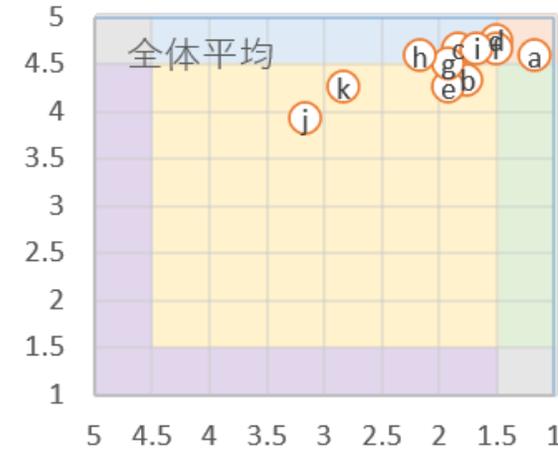
狩野紀昭, et al. "魅力的品質と当たり前品質." 品質 14.2 (1984): 147-156.

# ニーズの特定



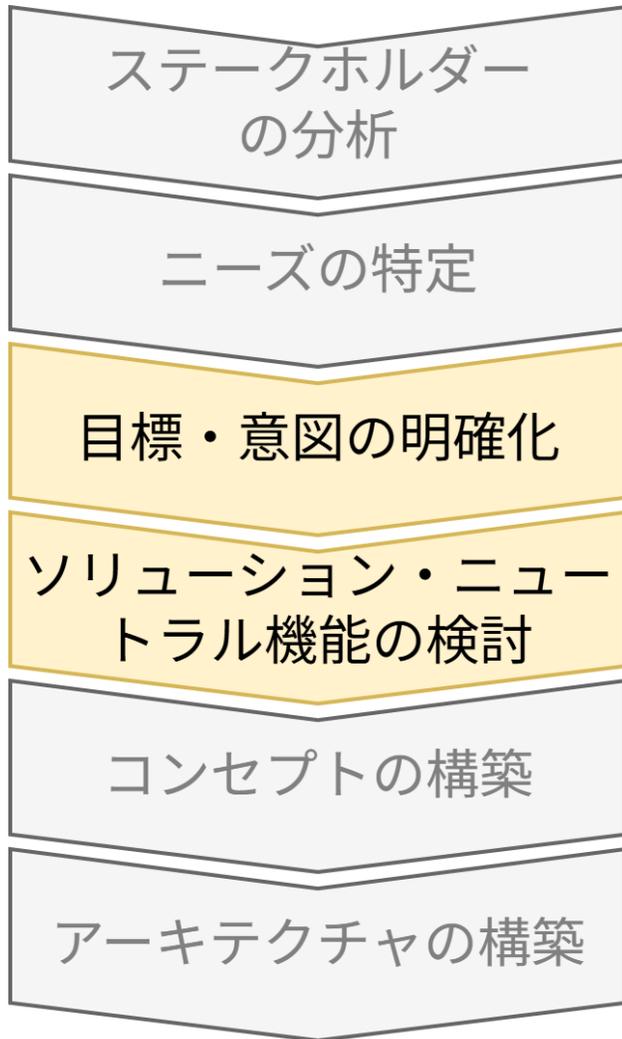
## 時間管理に対するニーズ

(a)	空地で共有される <u>時間精度</u> が向上する	一元的
(b)	<u>管制処理容量</u> が増加する	無関心
(c)	<u>定時性</u> が向上する	魅力的
(d)	<u>燃料消費量</u> ・ <u>温室効果ガス排出</u> が減少する	一元的
(e)	空域利用者（主にエアライン）の選択の <u>柔軟性</u> が向上する	無関心
(f)	空域利用者間の <u>公平性</u> が向上する	一元的
(g)	<u>管制官のワークロード</u> が低減する	魅力的
(h)	<u>パイロットのワークロード</u> が低減する	魅力的
(i)	国際的な <u>相互運用性</u> が向上する (インターオペラビリティ)	魅力的
(j)	現在の管制運用・航空機運航との <u>連続性</u> を保つ	無関心
(k)	現在または導入予定の管制システムとの <u>整合性</u> を保つ	無関心



- 立場の違いによるニーズの違い
- **当たり前品質**は無かった
- **一元的品質**の時間精度向上、燃料消費量減少、公平性向上が一番優先順位の高いニーズとなった

# アーキテクチャの作成



- ステークホルダーの分析  
ステークホルダーバリューネットワークの作成
- ニーズの特定  
ステークホルダーのヒアリング結果を狩野モデルにより分析
- 目標・意図の明確化  
時間管理の各機能のシステムプロブレムステートメントを設定
- ソリューション・ニュートラル機能の検討  
時間管理に必要な機能を実体にとらわれずに検討
- コンセプトの構築  
具体的な実現方法の選択肢の洗い出し
- アーキテクチャの構築  
時間管理アーキテクチャを構築し具体的な内容を記述

# 目標・意図の明確化



- **システムプロブレムステートメント (SPS : System Problem Statement)** を設定したシステムが価値を提供するために **何を実現するか** といった **意思を主張する** 単一の文であり、**本当の成功を象徴する** もの
- 目標に関する全ての文のベース、首尾一貫して普及しうるメッセージにする
- To-By-Using フレームワークを用いた
  - To** …するために (意図)
  - By** …することで (機能)
  - Using** …を用いて (フォーム)

## 時間管理のSPS

- To** 容量管理や順序・間隔づけの支援をできるだけ全飛行フェーズで行うために
- By** 特定地点における通過時刻を直接、または間接的に指示することによって
- Using** 時間を含む軌道情報を用いて

# ソリューションニュートラル機能



- システムは機能（システムが行うこと）とフォーム（物理的なシステムそのもの）から構成される
- フォームにとらわれることなく本当に必要な機能から考える

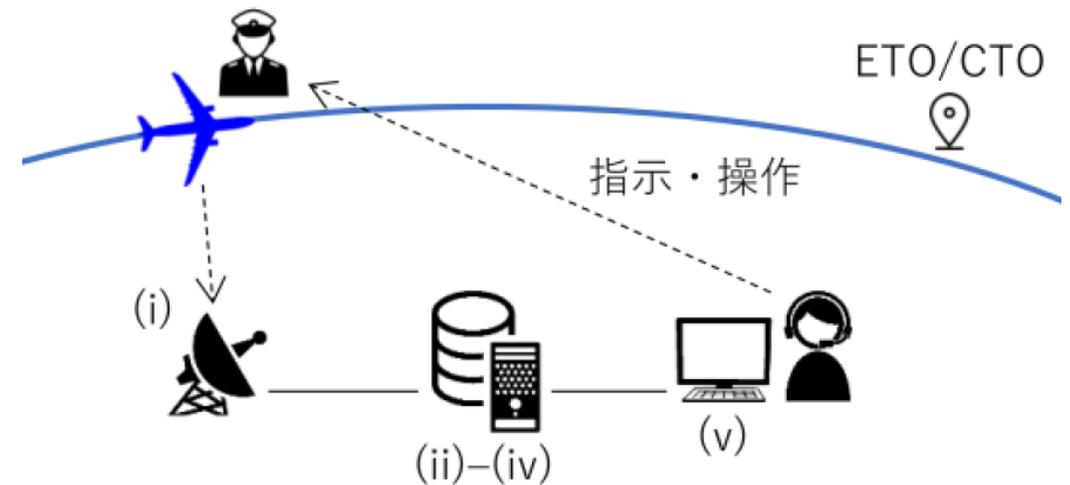
「移動する」



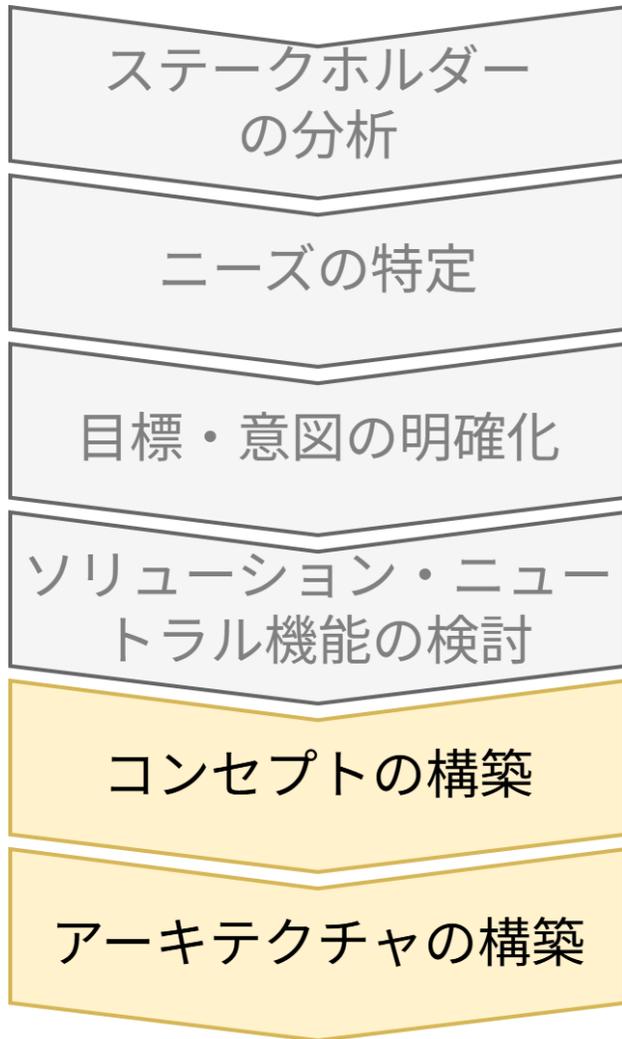
➡ ソリューションニュートラル機能からシステムを考える

## 時間管理のソリューションニュートラル機能

- 航空機の情報取得
- 特定地点の通過予測時刻の計算
- 時間管理によって割り当てられる特定地点を通過すべき時刻の計算
- 管制官へ提供する情報の計算
- 管制官への情報提供



# アーキテクチャの作成



- ステークホルダーの分析  
ステークホルダーバリューネットワークの作成
- ニーズの特定  
ステークホルダーのヒアリング結果を狩野モデルにより分析
- 目標・意図の明確化  
時間管理の各機能のシステムプロブレムステートメントを設定
- ソリューション・ニュートラル機能の検討  
時間管理に必要となる機能を実体にとらわれずに検討
- コンセプトの構築  
具体的な実現方法の選択肢の洗い出し
- アーキテクチャの構築  
時間管理アーキテクチャを構築し具体的な内容を記述

# コンセプトの構築



- 機能が整理された後に機能を実現するためのフォームを検討する
- コンセプトとは機能をフォームに関連付けるビジョンやアイデア
- 機能を実現するためにどのようなフォームが考えられるか洗い出す

## コンセプト要素

(A) メタリングにおける軌道予測のフォーム	: ICAP, TEPS (+ TAPS)
(B) DAPsによる機上情報を利用する	: yes, no
(C) メタリングにおける CTO 計算のフォーム	: TEAM, TEPS, TAPS, ICAP
(D) CTO計算における基準地点	: ターミナル空域入域地点, 滑走路末端
(E) CTO計算における間隔	: 距離間隔, 時間間隔, 後方乱気流間隔+滑走路占有時間
(F) CTO計算におけるバッファ	: 距離バッファ, 時間バッファ, スペーシングタイム
(G) 滑走路振り分けをする	: yes, no
(H) 管制官への情報提供形式	: 特定地点における通過時刻, 推奨速度
(I) メタリングエリア	: 開始位置

# アーキテクチャの構築



- コンセプトの総当たりの組合せ→アーキテクチャ膨大な候補ができるため設計構造マトリクスで絞り込み

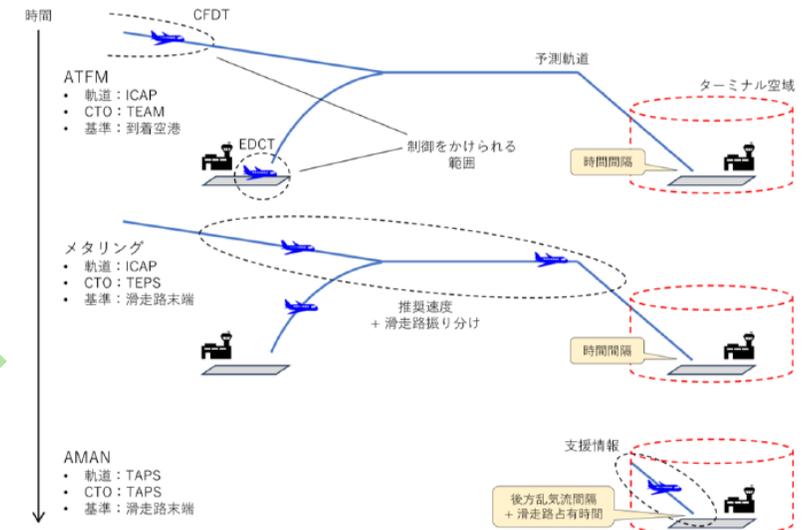
## モーフォロジカルマトリクス

ID	コンセプト要素 アーキテクチャ名	コンセプト要素								
		(A) 軌道	(C) CTO	(D) 基準地点	(B) DAPs	(E) 間隔	(F) バッファ	(G) 振り分け	(H) 情報	(I) 範囲
1	従来運用踏襲型	TEPS	TEPS	ターミナル 空域入域地点	Y	距離/時間	距離/時間	Y	速度	小
2	ATFM-メタリング-AMAN ルーズカップリング型	TEPS (+ TAPS)	TEPS	滑走路末端	Y	時間	スペーシング タイム	Y	速度	小
3	メタリング-AMAN タイトカップリング型	TEPS (+ TAPS)	TAPS	滑走路末端	Y	後方乱気流間隔 + 滑走路占有時間	距離/時間	Y	速度 + ターミナル 空域内支援	小
4	ストラテジック 軌道予測-TEPS型	ICAP	TEPS	滑走路末端	Y	時間	スペーシング タイム	Y	速度	大
5	ストラテジック 軌道予測-TAPS型	ICAP	TAPS	滑走路末端	Y	時間	時間	Y	速度 + ターミナル 空域内支援	大
6	ATFM-メタリング タイトカップリング型	ICAP	TEAM	滑走路末端	Y	時間	スペーシング タイム	Y	速度	大
7	ICAP 主導型	ICAP	ICAP	滑走路末端	Y	時間	時間	Y	速度	大

(A)	(B)	(C)	(D)	(E)
TEPS	yes	TEAM	入域地点	
			滑走路端	
	TEPS	入域地点		
		滑走路端		
	TAPS	入域地点		
		滑走路端		

組合せが膨大にできる

アーキテクチャの一例  
 <ストラテジック軌道予測-TEPS型アーキテクチャ>



アーキテクチャをまとめた文書の作成

# まとめ



- システムズアプローチに基づき  
時間管理のシステムアーキテクチャを作成した
- 体系的な手法に則って検討し、検討の背景や過程、  
判断の根拠を明確に示した
- 継続的な改良が必要、共通理解の対話の土台
- ENRI webサイトにて公開中



[https://www.enri.go.jp/jp/research/organization/atm/systems\\_approach.html](https://www.enri.go.jp/jp/research/organization/atm/systems_approach.html)



# 各ステークホルダーグループのヒアリング結果

