

# システムズアプローチによる時間管理の システムアーキテクチャ検討（ダイジェスト版）

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

第1.0版 令和7年8月12日 電子航法研究所



# はじめに



- 令和3年度より，指定研究「時間管理運用における機能間の連携に着目したアーキテクチャ作成に関する研究」を実施。
- TBOのような概念の登場により，航空交通管制システムは互いに接続し連携することが求められている。  
⇒ 航空交通管制システムの**大規模化・複雑化**
- システムの大規模化・複雑化に伴い，システム開発が難しくなっている。  
システム開発における課題
  - ✓ **システム全体の整合性**をとることが難しい。  
⇒ サブシステム間やシステムと運用の間で整合性がとれない。
  - ✓ **ステークホルダー**の増加で**共通認識**を持つことが難しい。  
⇒ 完成したシステムがステークホルダーの望むものではない。
- このような問題は他分野でも発生しており，システム開発の失敗により訴訟に至るケースが増えている。

# はじめに



研究目的：大規模・複雑システムの開発に適したシステムズアプローチを用いて、TBOの一要素である時間管理のシステムアーキテクチャを検討。

## システムズアプローチ？

- システムズアプローチとは、システム思考の実践のひとつ。  
システム思考 (systems thinking)：世の中のあらゆるモノやコトをシステムとして捉え（広義のシステム）、それらを分割した個々としてだけでなく、全体や関係性に重きをおいて理解する考え方。
- システムの個々の要素だけではなく、要素間の関係といった、俯瞰的な捉え方をすることで、望ましい創発を得ることを目指す。  
創発 (emergence)：システムは各要素が相互につながることで、各要素の単なる足し算以上のものを生み出すとされている。そのような現象を創発と呼ぶ。ただし、創発はポジティブなものだけではなく、つながることでネガティブな創発をすることもある。

本資料の目的：本研究の成果物であるまとめ文書のご紹介

「システムズアプローチによる時間管理のシステムアーキテクチャ検討」

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

# システムズアプローチの流れ



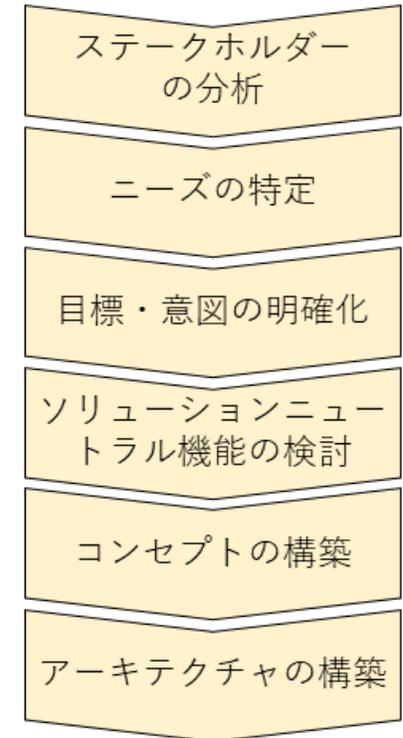
- システムズアプローチは様々な考え方・手法で構成され、具体的にどのように検討を進めるかにはバリエーションがある。弊所の研究では、右図のような手順で検討を進めている。

\* 実際には各ステップを何度も行き来して整合性をとっていく。

- システムズアプローチは、検討対象のステークホルダーやニーズから議論を始める **ニーズ志向アプローチ** である。

システム開発における課題（再掲）

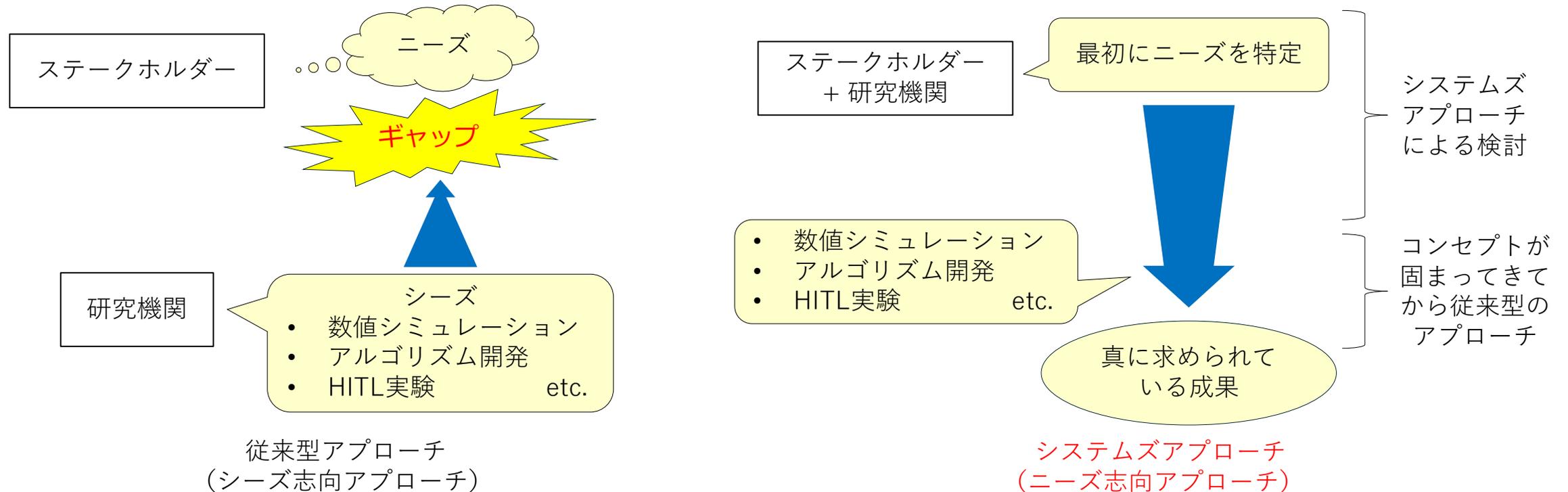
- ✓ システム全体の整合性をとることが難しい。
- ✓ ステークホルダーの増加で共通認識を持つことが難しい。
- ⇒ コンセプトやアーキテクチャを構築するための手法が体系化されており、**システムや運用の各要素間で矛盾の無い構成**を検討することができる。
- ⇒ ニーズ志向で検討を進めることで、**真にステークホルダーの要望に沿った成果物**を得ることが期待できる。



# システムズアプローチと研究開発



- 研究開発における課題：現実的な課題（ニーズ）と研究（シーズ）のギャップ
- ニーズ志向アプローチであるシステムズアプローチによって、ギャップを埋めることが期待できる。

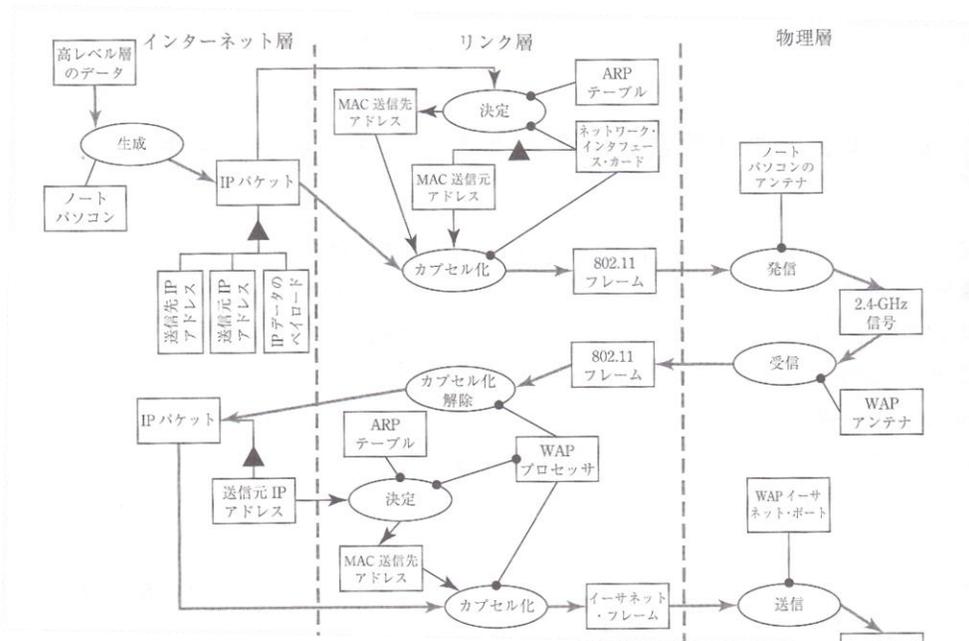


HITL: human-in-the-loop (訓練シミュレータのように人間が参加するシミュレーション)

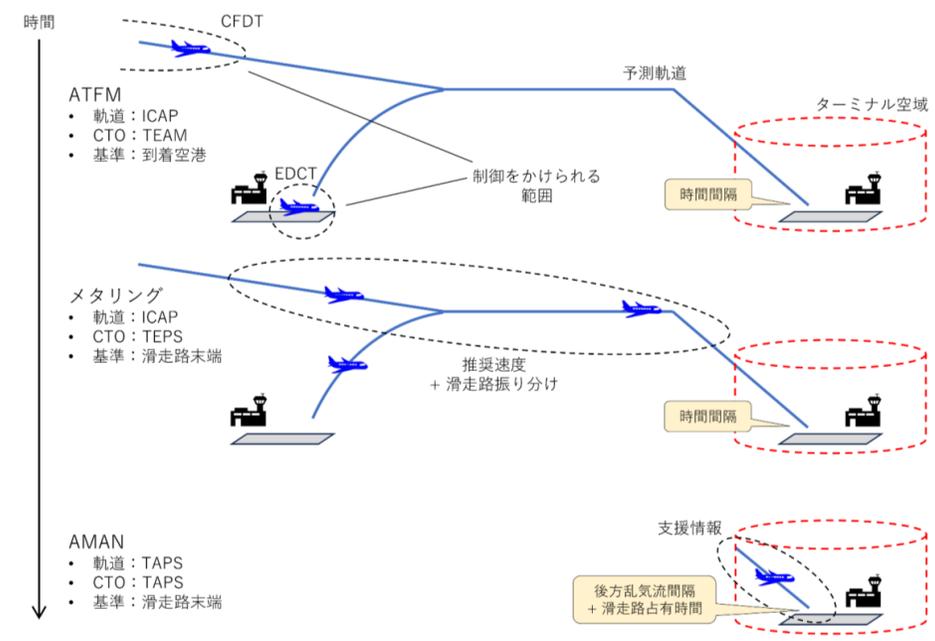
# システムズアプローチの成果物



- システムアーキテクチャの示し方には様々な形がある。
  - ✓ 本文書では時間管理の唯一の解を示すのではなく、妥当性の高いシステムアーキテクチャをできるだけ網羅的に示す。
  - ✓ ステークホルダーが共通認識の下、システム全体で整合性のとれた、将来の時間管理のあるべき姿を議論可能な基盤を提供する。



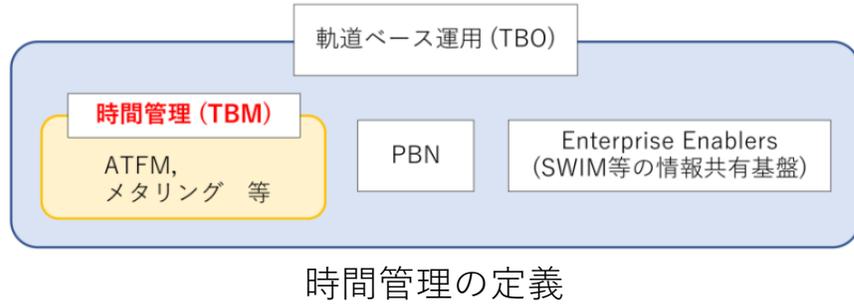
システムアーキテクチャの例



# 本文書における議論の前提



- 時間管理に関する諸定義 (第2章)

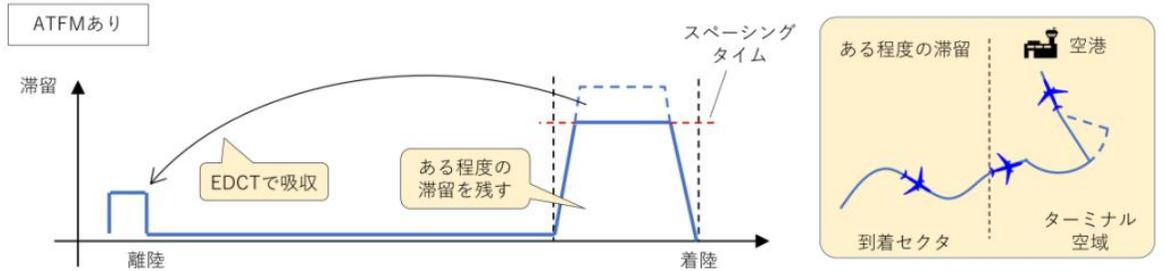


TBO is a collection of systems, capabilities, processes, and people working together to achieve operational objectives

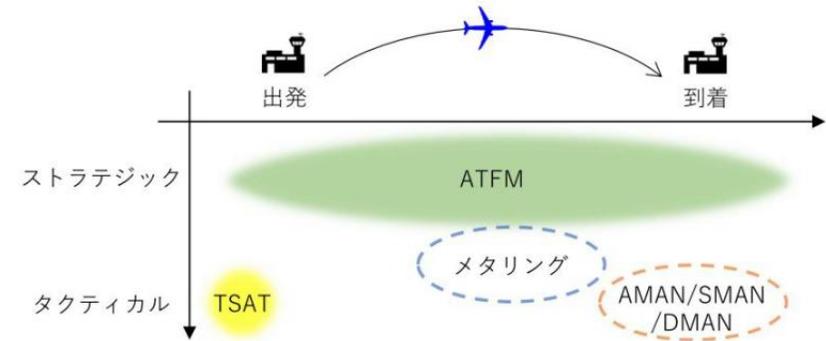


FAAによる時間管理の位置づけ

- 現在の運用環境と議論の方向性 (第3章)



ATFMの働き

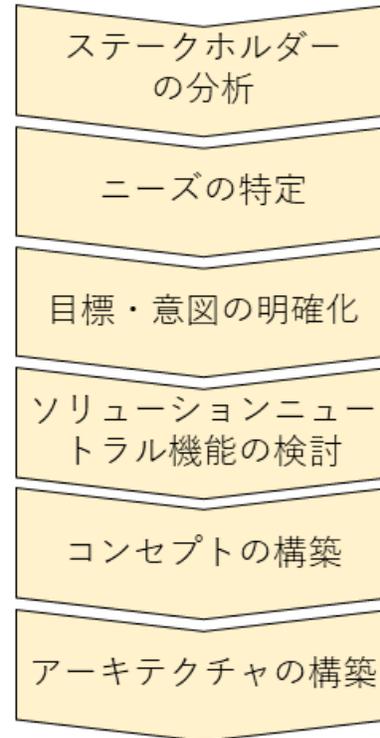


各サブシステムの位置づけ

# システムズアプローチの流れ (再掲)



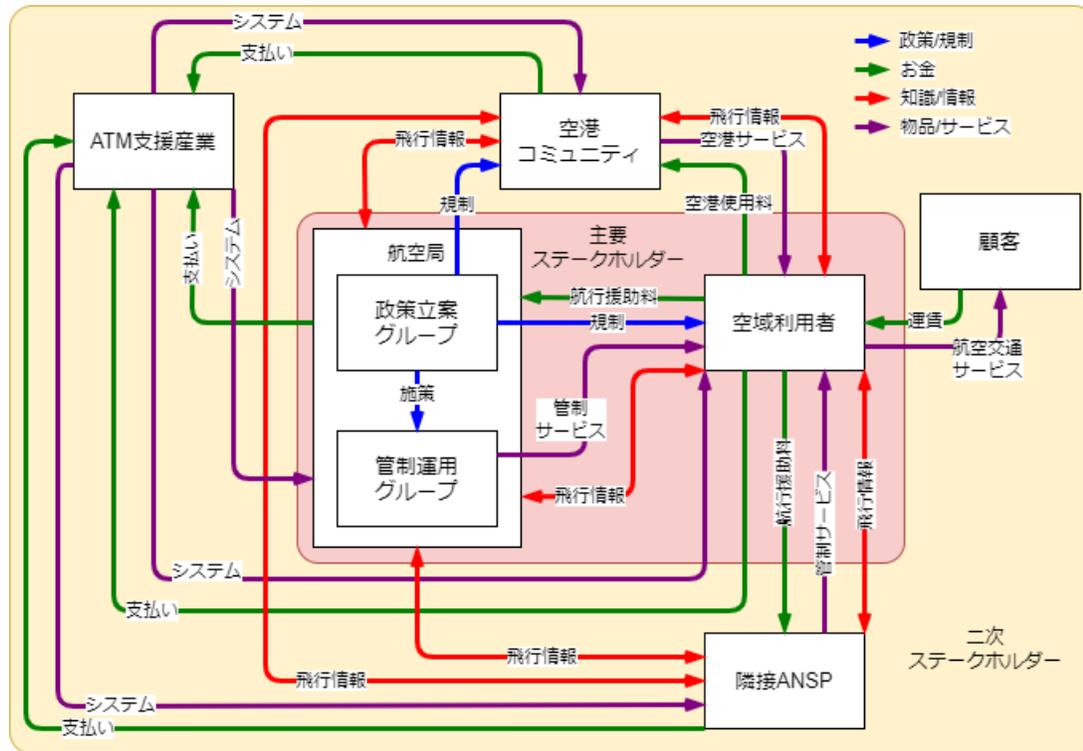
- 第4章以降は、以下の流れに沿って、時間管理のシステムアーキテクチャを検討していく。



# ステークホルダーの分析



- 真のニーズを明確にするために、ステークホルダーがどのように関係しているかを整理する。  
⇒ 例：ステークホルダーバリューネットワーク (Stakeholder Value Network: SVN) の作成



時間管理のSVN

## SVN

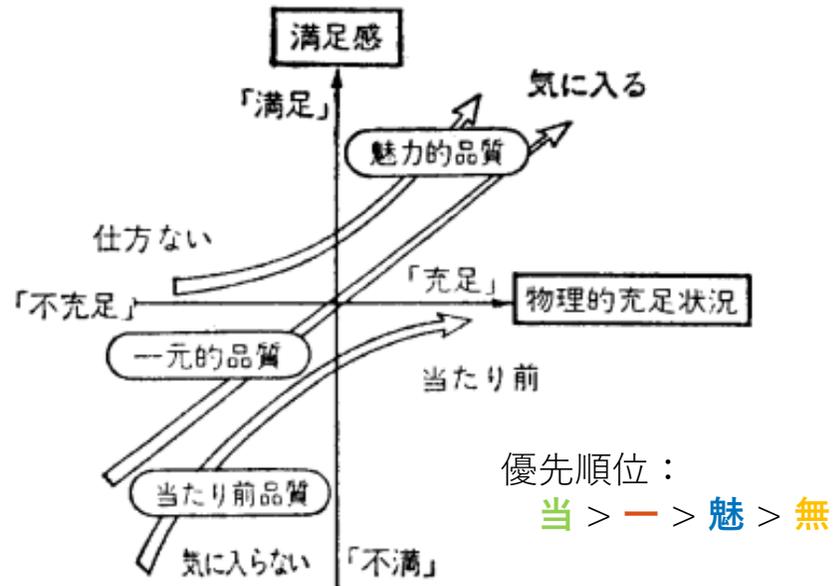
- ステークホルダーを四角で表し、ステークホルダー間の価値の流れを矢印で視覚化したもの。
- いくつかの流儀があるが、左図では、価値を以下の4種類に分けて色分けしている。
  - ルール（政策/規制）
  - お金
  - 知識/情報
  - 物品/サービス

# ニーズの特定



- 各ステークホルダーは立場の違いから異なるニーズをもっており、時にはそれらに対立する場合もある。
- ニーズが対立した際にシステムが優先すべきニーズを明確にするため、ニーズを特徴づけ、その優先順位を特定する必要がある。

⇒ 例：狩野モデルによるニーズの分析



狩野モデルの基本的考え方

- **当たり前品質**：それが満たされれば当たり前と受け取られるが、満たされなければ不満を引き起こす品質要素。
- **一元的品質**：それが満たされれば満足、満たされなければ不満を引き起こす品質要素。
- **魅力的品質**：それが満たされれば満足を与えるが、不充足であっても仕方がないとされる品質要素。
- **無関心品質**：それが満たされていていなくても、満足も不満も引き起こさない品質要素。



## 時間管理におけるニーズ分析の結果

- **当たり前品質**  
該当無し
- **一元的品質**（優先度：高）
  - (a) 空地で共有される時間精度が向上する
  - (d) 燃料消費量・温室効果ガス排出が減少する
  - (f) 空域利用者（主にエアライン）間の公平性が向上する
- **魅力的品質**（優先度：中）
  - (c) 定時性が向上する
  - (g) 管制官のワークロードが低減する
  - (h) パイロットのワークロードが低減する
  - (i) 国際的な相互運用性（インターオペラビリティ）が向上する
- **無関心品質**（優先度：低）
  - (b) 管制処理容量が増加する
  - (e) 空域利用者（主にエアライン）の選択の柔軟性が向上する
  - (j) 現在の管制運用・航空機運航との連続性を保つ
  - (k) 現在または導入予定の管制システムとの整合性を保つ

# システムの目標・意図の明確化



- システムの検討においては、議論が進むにつれてステークホルダーが元々解決したいと考えていた課題を見失うことや、検討範囲が過剰に広がるのが頻繁に起こると言われている。
- 検討システムのハイレベルな目標・意図を簡潔に定義しておき、定期的を確認することが有効である。  
⇒ 例：System Problem Statement (SPS) の設定
- SPSの書き方には様々な流儀があるが、To-By-Usingというフレームワーク等が用いられる。

## 時間管理のSPS

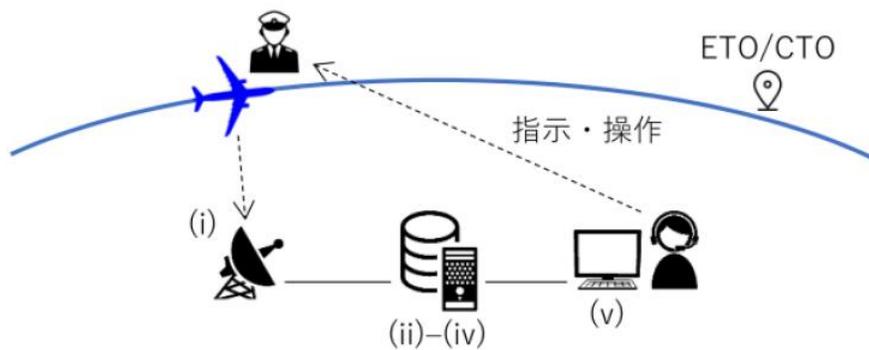
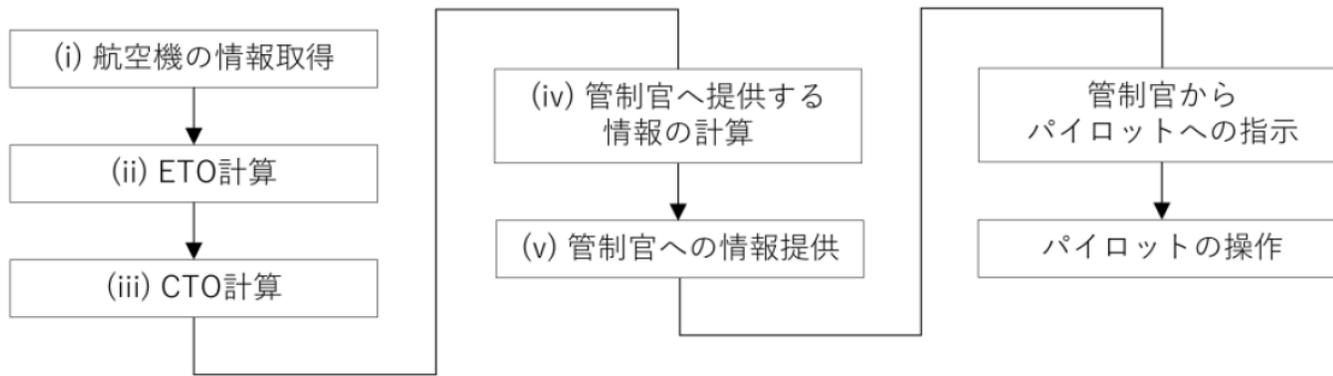
- ✓ To: 容量管理や順序・間隔づけの支援をできるだけ全飛行フェーズで行うために
  - ✓ By: 特定地点における通過時刻を直接、または間接的に指示することによって
  - ✓ Using: 時間を含む軌道情報を用いて
- サブシステムや接続される別システムについてもSPSを設定することで、システム間の目標・意図の整合性について議論できる。  
⇒ 例：ATFMのSPSは？時間管理との位置づけは？

# ソリューションニュートラル機能の検討



- システム思考において、「システム」は「フォーム」と「機能」で構成されると定義されている。
  - ✓ フォーム (Form) : システムの物理的, または情報の具体化. システムの実体.
  - ✓ 機能 (Function) : フォームによって実行されるシステムの行動.
- フォームからシステムを考えると, システムの潜在的な幅を狭めてしまったり, 手段と目的が入れ替わったりしてしまう可能性がある.
  - ⇒ 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.
  - ✓ ソリューションニュートラル機能 : 具体的なフォーム (解決の選択肢) を定めない機能. 例えば, 電車や飛行機ではなく「移動させる」.

# ソリューションニュートラル機能の検討



## 時間管理のソリューションニュートラル機能

- (i) 航空機の情報取得  
予定飛行経路や、位置・速度といった航空機の情報を取得する。
- (ii) ETO 計算  
取得した情報を基に、各航空機の特定地点におけるETOを計算する。
- (iii) CTO 計算  
計算されたETO等を基に、各航空機に対するCTOを計算する。
- (iv) 管制官へ提供する情報の計算  
計算されたCTOを達成するような指示を計算する。
- (v) 管制官への情報提供  
計算された情報を、管制卓等を通じて管制官へ提供する。

# コンセプトの構築



- システム思考において「コンセプト」とは、「フォーム」と「機能」の紐づけのことを指す。
- 目的を達する「機能」を実現するために、どのような「フォーム」の組み合わせ（「コンセプト」）が考えられるかを洗い出す。

\* この辺りから、時間管理を構成するサブシステム（ATFM, AMAN/SMAN/DMAN等）も考慮しつつ、メタリングに軸足を置いた議論に移行。

- 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

# システムアーキテクチャの構築



- コンセプトの選択肢を総当たりで組み合わせると、アーキテクチャ候補が膨大になってしまう。  
⇒ 設計構造マトリクス (Design Structure Matrix: DSM) を用いたコンセプト要素の絞り込み。

DSMの例

	(B) DAPs	(D) 基準	(C) CTO	(A) 軌道	(E) 間隔	(F) バッファ	(H) 情報	(I) 範囲	(G) 振り分け
(B) DAPs	X								
(D) 基準		X	✓						
(C) CTO		✓	X	✓					
(A) 軌道			✓	X					
(E) 間隔		✓			X				
(F) バッファ					✓	X			
(H) 情報	✓						X		
(I) 範囲				✓				X	
(G) 振り分け		✓	✓					✓	X

- チェックが入っている要素間において、列→行の方向に依存関係があることをあらわす。
- DSMには様々な解析方法があるが、ここではクラスタリング後に、上三角側に成分があるもの（赤線内）に関しては、強い依存関係があるとして、最初に意思決定すべきものとする。

- 主要コンセプト要素  
(最初に決めるべき選択肢)  
(A) メタリングにおける軌道予測のフォーム  
(C) メタリングにおける CTO 計算のフォーム  
(D) CTO計算における基準地点

# システムアーキテクチャの構築



- 主要コンセプト要素に対して総当たりにシステムアーキテクチャを構成。  
⇒ モーフォロジカルマトリクスを作成
- 組み合わせ的にあり得ない、他のアーキテクチャとほぼ同じものを削除。  
⇒ 妥当性の高い時間管理のアーキテクチャを7パターン構築

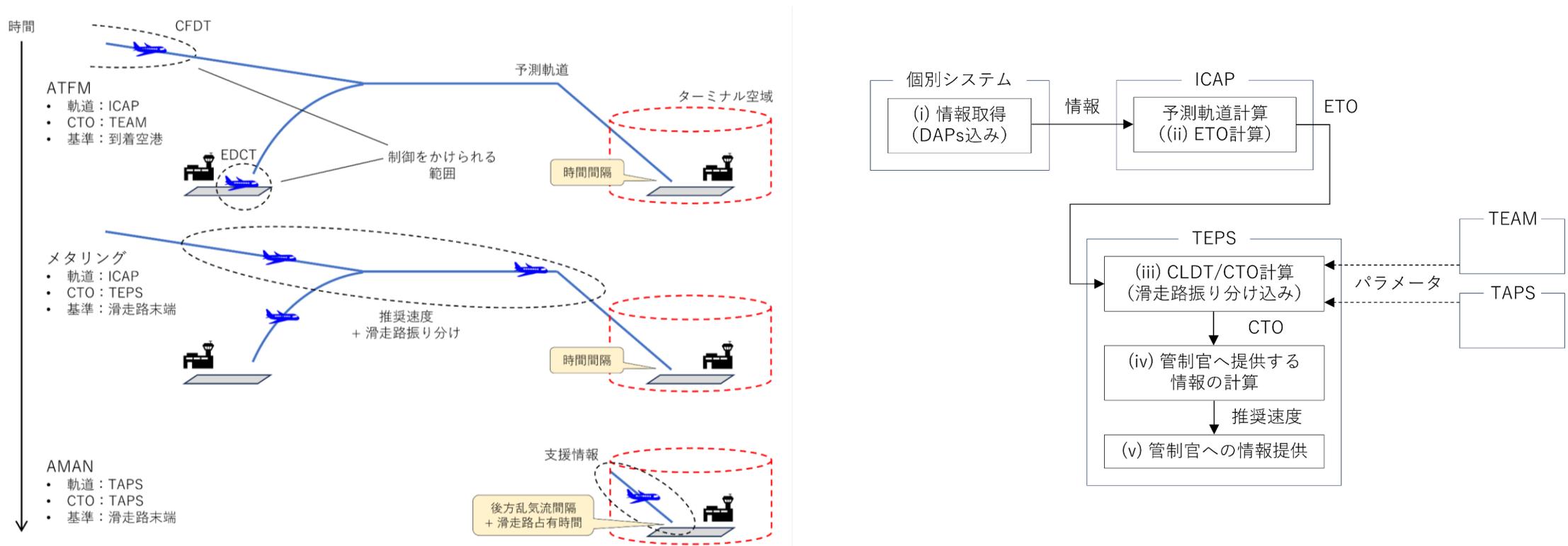
モーフォロジカルマトリクスの例

ID	コンセプト要素 アーキテクチャ名	(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
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

# 時間管理のシステムアーキテクチャ



- 下記のような図と文書の形式で、時間管理のシステムアーキテクチャを7パターン記述。



システムアーキテクチャの例 (ID: 4, ストラテジック軌道予測-TEPS 型アーキテクチャ)  
 \* その他のアーキテクチャについては本文 ([https://www.enri.go.jp/research/organization/atm/systems\\_approach.html](https://www.enri.go.jp/research/organization/atm/systems_approach.html)) を参照



- 本文書では，将来の時間管理のあるべき姿を模索するために，大規模・複雑システムの検討に適しているシステムズアプローチを用いて時間管理のシステムアーキテクチャを検討した。
- 時間管理のシステムアーキテクチャによって，ステークホルダーが適切な共通認識を持ちつつ，ニーズに合致したアーキテクチャを選択できるようになることを期待する。
- 今回はフォーカスを絞るために SWIM や FF-ICE には言及しなかったが，それらは時間管理にとって重要な軌道に関わるものであるので，今後はSWIM, FF-ICE とも連携した議論が，必要であると考えられる。