

先端生命維持システムの運用計画立案の支援に関する検討

宮嶋宏行 東京女学館大学
 広崎朋史 宇宙システム開発
 石川芳男 日本大学

背景(1/2) 先端生命維持システム(ALSS)とは？

- 地球から遠く離れた場所での長期間のミッションに対応するための生命維持システムである
- 国際宇宙ステーションの生命維持システムとの違い
 - 食料生産を行う
 - 物理化学的処理に加えて生物学的処理を利用する
 - 作物の非可食部や人間の排泄物を再生して資源を回収する
- 想定されるミッションには、有人火星探査がある
 - 行き150日+火星滞在619日+帰り110日=ミッション期間879日(Mars Reference Mission, NASA)

背景(2/2) 先端生命維持システム(ALSS)の運用

- 地球低軌道(LEO)の国際宇宙ステーション(ISS)のような支援は受けられない。
- 限られた搭乗員だけでALSSを運用しながら本来のミッションを行う必要がある。

ある程度、自律的に運用計画を作り出すことが望まれる。

研究の目的

- ALSSの物質循環の監視制御システムの知能化について検討する。
 - SRKモデルに基づいた知能化

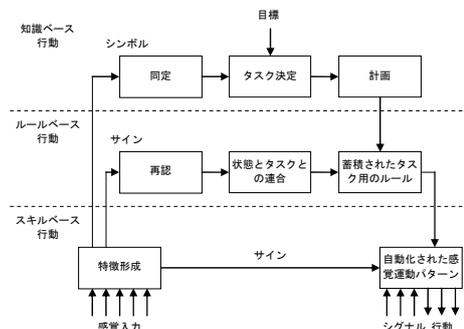
知能とは？

1. 経験から学習する能力、そこで得た知識を記憶する能力
2. 新しい状況に適応し、対処する能力
3. 概念レベルで思考し、推論により問題を解く能力

知能制御の扱う範囲

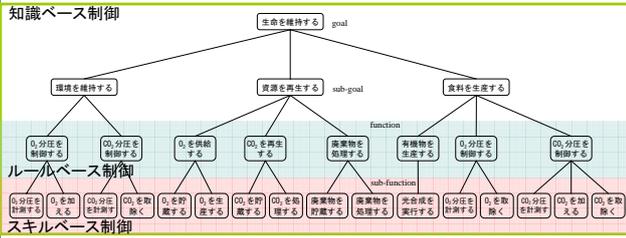
- 制御対象がより広く、微分方程式、差分方程式だけではなく離散事象などを含む
- 制御目的がより広く、マクロな表現による目的を含む
 - 従来制御: 居住空間の二酸化酸素濃度を許容範囲内に維持する。
 - 知能制御: 植物栽培スケジュールを変更する。廃棄物処理装置を2日間休止する。

SRKモデルに基づく知能制御の概念

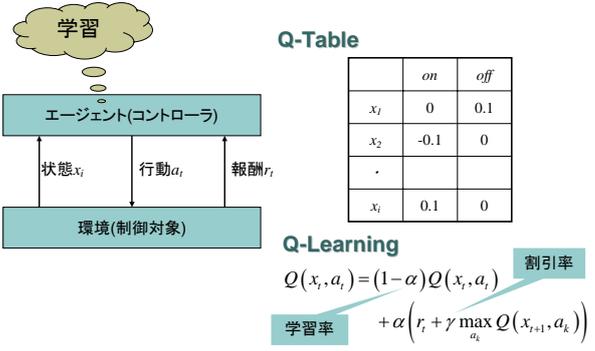


ALSSの機能の階層構造

ALSSの機能の階層構造

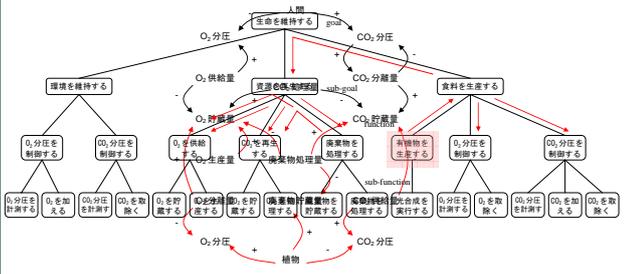


ルールベース制御 強化学習



知識ベース制御 概念モデル

ALSSの概念モデル



知識ベース制御 概念モデルの記述

概念モデルをIF-THEN型のファジィ制御規則で表す

廃棄物処理装置のファジィ制御規則

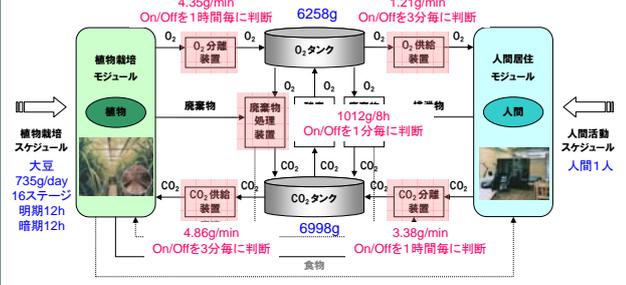
R_i : If x_1 is A_{i1} and x_2 is A_{i2} and $x_3 > W3_W$ then p is B_i , $i = 1, 2, \dots, 13$

p のファジィラベル	CO ₂ タンク A ₂						
	NB(-3)	NM(-2)	NS(-1)	ZO(0)	PS(1)	PM(2)	PB(3)
O ₂ タンク	NB(-3)						
	NM(-2)						
	NS(-1)						
	ZO(0)	PS	ZO				
A ₁₁	PS(1)	PM	PS	ZO			
	PM(2)	PB	PM	PS	ZO		
	PB(3)	PB	PB	PM	PS		

NB: Negative Big, NM: Negative Medium, NS: Negative Small, ZO: Zero, PS: Positive Small, PM: Positive Medium, PB: Positive Big
ファジィ集合のラベルは0内の危険度と対応している

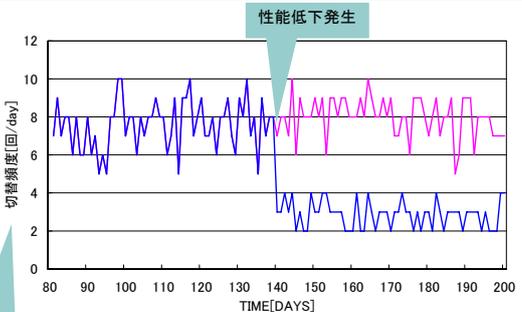
シミュレーションモデルと設定

O₂とCO₂の循環に係る基本的要素に限定したモデル



知能制御の評価
植物のシークエンス栽培が完了した後、81日から200日までの120日間
ルールベース制御の評価: CO₂分離装置の能力が低下した場合
知識ベース制御の評価: 植物栽培スケジュールが変更になった場合

CO₂分離装置の能力が低下した場合(1/2)



運用方法が変化したことを示す指標

CO₂分離装置の能力が低下した場合(2/2)

運用方法が変化することを示す指標 どれぐらい学習しているかの指標

期間 [日]	CO ₂ 分離能力正常		CO ₂ 分離能力50%低下	
	切替頻度 [回/day]	報酬獲得頻度 [回/day]	切替頻度 [回/day]	報酬獲得頻度 [回/day]
81-140	7.57	0.40	7.50	0.42
141-200	8.02	0.28	2.87	0.83

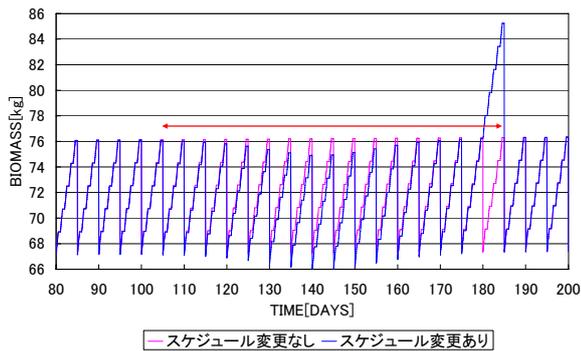
141日目に性能低下発生

植物の栽培スケジュールの変更

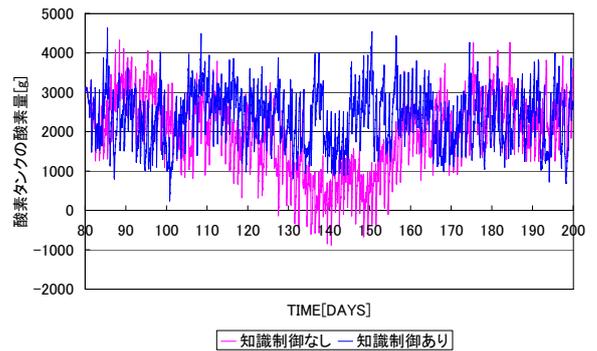


植物栽培量の変化により一時的にCO₂の消費が減り、O₂の発生が減る

バイオマスの変化



酸素タンクの酸素量の変化



まとめ

- CO₂分離装置の能力が50%低下した場合の結果から、強化学習を利用したルールベース制御により環境が変化した場合に新たな運用方法を獲得できたと言える。
- 植物栽培スケジュールを変更した場合の結果から、知識ベース制御をルールベース制御に加えることで、廃棄物処理装置の運用計画の立案がうまく行われたと言える。
- SRKモデルを基にした知能制御を用いて、より広い制御対象や制御目的を取り扱ったALSSの運用の一例を示した。今後、様々な事例に対して本手法の適用を検討していきたい。

監視制御システム

