

シミュレーションによる CEEF結合試験の支援

宮嶋宏行 東京女学館短期大学
阿部康一 (財)環境科学技術研究所
芦田章 (財)未来工学研究所
石川芳男 日本大学
新田慶治 (財)環境科学技術研究所

はじめに

- CEEFの建設が完了して
 - 現在は、物質循環システムの性能試験と植物のシーケンス栽培の試験が行われている
 - 次の大きな課題の一つが、2005年から2007年に、植物系と動物・居住系の物質循環システムを結合して、人間が居住した閉鎖系の物質循環試験を実施することである
 - そのために必要となる技術を検証している段階であり、今後、これらの設備を結合して運用するための条件が整備されていくことになる

シミュレーションの役割

- 実験条件に未確定要素が多く、様々な実験条件が考えられるシステムの検討には、シミュレーションによる解析が大きな役割を果たす
- CEEFのように1つの実験に数ヶ月から数年という長い時間を必要とする場合、シミュレーションそのものが計算機上での実験の1つとなり、実験条件の検証や新しい条件での実験の予測に役立つ

研究の目的

- シミュレーションによる結合試験の支援
 - 昨年度の発表
 - 人間1人、作物6種類で閉鎖系植物実験施設(CPEF)と閉鎖系動物飼育・居住実験施設(CABHF)を結合して運用した場合の物質循環が可能であることを設計データを基にしたシミュレーションにより確認した
 - 今年度の発表
 - 1999年から2000年に行われた閉鎖系植物実験施設(CPEF)を利用した結合試験についてシミュレーション解析した結果について報告する

CPEFを利用した結合試験

- この結合試験は1999年の9月から2000年の2月にかけて植物栽培モジュールと植物系の物質循環システムを利用してシーケンス栽培(シーケンス栽培とは、植付けと収穫を定期的に一部ずつ行う方法)の技術を確立するために行われた
- 2000年1月の半ばには、10の作物が植物栽培モジュールの栽培ベットに段階的に生育する状態になり、2月中旬までの1ヶ月間にわたり物質のインプットとアウトプットに関するデータが取得された

栽培植物のレイアウト

Chamber	Bed	Crop	Area[m ²]
B (AL)	A - F	SOYBEANS	30
C (AL)	A - F	RICE	30
F (NL+AL)	A	SPINACH	5/3
		KOMATSUNA	5/3
		WELSH ONION	5/3
	B, E	CUCUMBERS	10
	D, F	TOMATOES	10
	G, J	PERILLA	10
	H, K	CAPSICUM	10
	I, L	SWEET POTATOS	10

AL : Artificial Light, NL : Natural Light

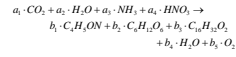
植物栽培環境

Chamber	Illumination	Temperature and Humidity	Concentration
B and C	High Pressure Sodium lamp 25% (2 hours) 50% (2 hours) 75% (6 hours) 50% (2 hours) 25% (2 hours) 0% (10 hours)	Light Period: 26±1°C 70±5%RH Dark Period: 19±1°C 85±5%RH	CO ₂ : 700±100ppm O ₂ : 20-22%vol
F	Metal halide Lamp(Supplementary light) 4:00-20:00	Light Period: 23±1°C 65±5%RH Dark Period: 17±1°C 85±5%RH	

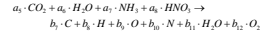
植物モデル

Material Balance Model

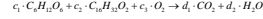
[Edible plant during a light period]



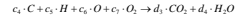
[Inedible plant during a light period]



[Edible plant during a dark period]



[Inedible plant during a dark period]



Plant Growth Model

$$\frac{dx}{dt} = \alpha \cdot x \cdot \left(1 - \frac{x}{x_m}\right)$$

$$\alpha = f(I, T, CO_2)$$

$$= \alpha_{max} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_{CO_2}$$

$$\alpha_1 = \alpha_1 \cdot I \quad (0 \leq I \leq 2000)$$

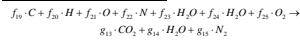
$$\alpha_2 = \alpha_2 \quad (20 \leq T \leq 30)$$

$$\alpha_{CO_2} = \begin{cases} \alpha_{CO_2} \cdot CO_2 + c_{CO_2} & (100 \leq CO_2 < 500) \\ 1 & (CO_2 \geq 500) \end{cases}$$

物質循環モデル

- 植物系物質循環システムモデルはWITNESS(連続系・離散系対応汎用シミュレータ)の“Processor”と“Tank”エレメントを利用した
- 物理化学的装置のモデル化(湿式酸化装置の場合)

Material Balance Model



Process Model

$$\frac{dx_{CO_2}}{dt} = F_{CH_3OH} \cdot \delta_{CH_3OH} + F_{O_2} \cdot \delta_{O_2} - F_{CO_2} \cdot \delta_{CO_2} - F_{H_2O} \cdot \delta_{H_2O}$$

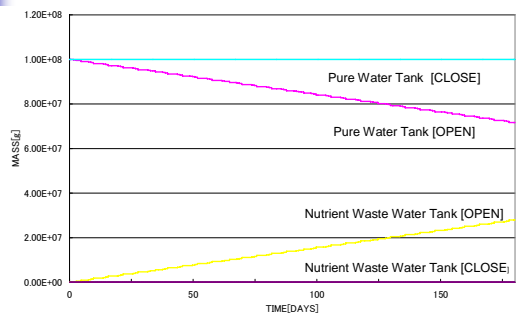
シミュレーションの設定

- 閉鎖系植物実験施設を利用した試行実験と異なる設定
 - シミュレーションでは、湿式酸化装置、養液合成装置、肥料排水処理装置を運転しているものと仮定した(実際の実験では運転していない)

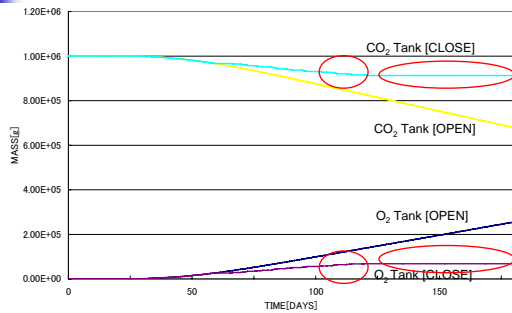
シミュレーション解析(1)

- CPEFが開放系モードで運用された場合と閉鎖系モードで運用された場合の物質循環を比較する
 - 運用モードの定義
 - 開放系モードは、上水が外部から上水タンクへ、肥料排水が肥料排水タンクから外部へ、二酸化炭素が外部から二酸化炭素タンクへ、酸素が酸素タンクから外部へ移動することを許す
 - 閉鎖系モードは、外部との物質交換を許さない

外部の上水タンクと肥料排水タンクの物質量の變動



外部の二酸化炭素タンクと酸素タンクの物質量の変動

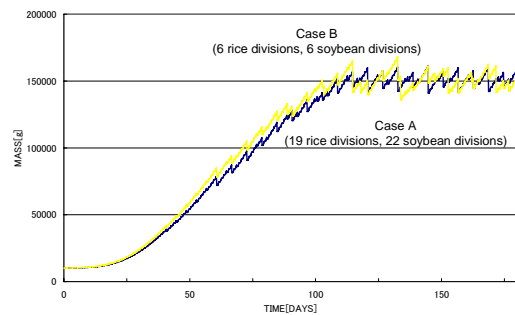


シミュレーション解析(2)

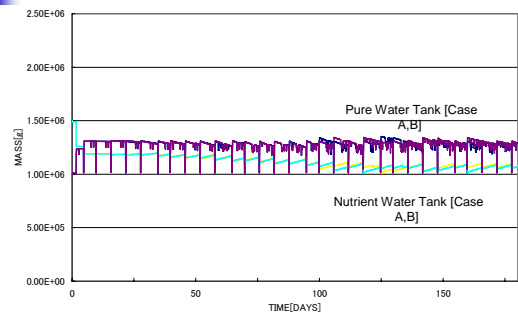
- 植物の分割数が物質循環に与える影響
 - 栽培ベットの数と栽培する植物の分割数を同じにする (1つの栽培ベットに同じ成長段階の植物があることになり養液管理がしやすい)

	Beds	Rice divisions	Soybean divisions
Case A	6	19	22
Case B	6	6	6

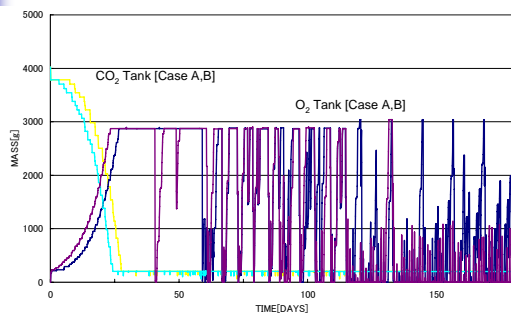
植物量の変動



上水タンクと肥料用水タンクの物質量の変動



二酸化炭素タンクと酸素タンクの物質量の変動



まとめ

- 運用モードの比較
 - CPEFが開放系モードで運用されているとき水と二酸化炭素が外部から供給され、肥料排水と酸素が外部へ払い出される必要があることをシミュレーションで確認した
 - 湿式酸化装置、養液合成装置、肥料排水処理装置を運用すれば閉鎖系モードでの運用が可能であることをシミュレーションで確認した
- 植物の分割数の影響
 - 養液の管理が行いやすいように栽培ベットの数と植物の栽培分割数を6に設定したとき、十分な物質循環が達成されることをシミュレーションで確認した