

# CEEF 運用のための対話型スケジューラの開発

## Development of Interactive Scheduler for operating the CEEF

○宮嶋宏行（東京女学館大）、阿部康一（環境研）、広崎朋史（宇宙システム開発）、石川芳男（日大）

Hiroyuki Miyajima\*, Koichi Abe\*\*, Tomofumi Hirosaki\*\*\*, Yoshio Ishikawa\*\*\*\*

\* Tokyo Jogakkan College, 1105 Tsuruma, Machida-shi, Tokyo 194-0004, Japan

E-mail : miyajima@m.tjk.ac.jp

\*\* Institute for Environmental Sciences, 1-7 Ienomae, Obuchi, Rokkasyo-mura, Aomori 039-3212, Japan

\*\*\* Space Systems Development Corporation, 2-10-1-202 Minamihanazono, Hanamigawa-ku, Chiba-shi, Chiba 262-0022, Japan

\*\*\*\* Nihon University, 7-24-1 Narashinodai, Funabashi-shi, Chiba 274-8501, Japan

### ABSTRACT

In this paper, we describe the design of layer control software required for operating the Closed Ecology Experiment Facilities (CEEF). We will develop layer control software by reconfiguring functions of a Monitoring and Control System (MCS) for controlling the CEEF into three layers that consist of planning & scheduling, task, and control levels. In the last half of this paper, we will focus on the planning & scheduling level, and describe the operation scheduling problem of a CEEF gas circulation system using a Planning and Scheduling Language (PSL) to develop an Operation Schedule Interactive Generation system (OSIG).

**Key Word** : Three Layers Control, Scheduling, Life Support Systems

## 1. 序論

2005 年度から閉鎖型生態系実験施設 (Closed Ecology Experiment Facilities : CEEF) を利用した居住実験が始まり、2 人の人間が 1 週間滞在する実験が 3 回行われた。今後、滞在期間は徐々に延ばされ、2009 年度には、2 人の人間が 4 ヶ月間滞在する実験が行われる<sup>1)</sup>。CEEF は、先端生命維持システムの技術を獲得するという目的を持っているが、そのシステムは従来のプラントシステムの技術を基に開発されている。特に、システムの監視制御という点ではほとんど自動化されていない。このシステムは、オペレータの判断により運転の開始や停止が決定されるマニュアル操作部分を多く持ち、オフラインでの計測が必要な部分も持っている。現在、このようなシステムを運用するための第一段階として CEEF 挙動予測システム (CEEF Behavioral Prediction System : CPS) の開発がなされている<sup>2)</sup>。この CPS では、オペレータが運用スケジュールを作成する。しかし、複雑な CEEF の運用スケジュールの作成は容易ではなく、長期居住実験中の状況の変化に応じてオペレータが運用スケジュールを作成することはオペレータの能力を超える。

そこで CPS に組み込む運用スケジュール対話型作成システムを開発する。これによりオペレータが運用スケジュールを作成するのを支援する。本研究では、CEEF 制御用コンピュータシステムを 3 層からなる階層制御と考え、そのうちの 1 層であるプランニング&スケジューリングレベルにおける運用スケジュール対話型作成システムの開発について述べる。

## 2. 階層制御ソフトウェアの設計

CEEF は従来のプラントシステムの技術を基に開発されている。システムの監視制御という点でも同様であり、伝統的な技

術が利用されている。ここでは、CEEF 制御用コンピュータシステムに階層制御を適用するに際して、制御用コンピュータシステムの機能を Fig.1<sup>3)</sup>の左図 (理想的な階層) に示すプランニング&スケジューリングレベル、タスクレベル、コントロールレベルの 3 層に再構成する。

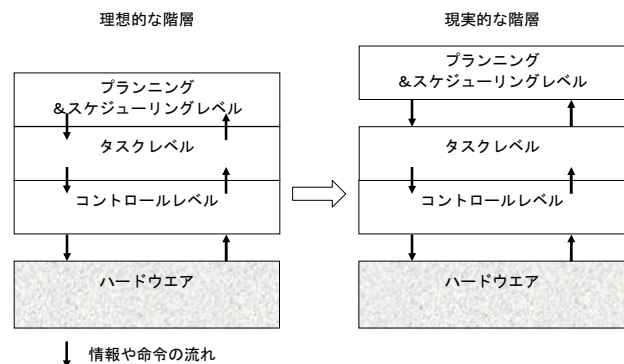


Fig.1 Control computer system concept

プランニング&スケジューリングレベルでは、プランニングとスケジューリングを行う。プランニングでは実験計画を決め、それに必要なタスク (スケジュールを構成する基本要素) を生成し、スケジューリングではタスクの実行順序を決める。これらのうちスケジューリング部分が今回開発する部分である。現段階では、プランニングは人間によって行われ、最終的な意思決定も人間によって行われる。タスクレベルでは、タスクを構成する事象 (操作など) の進行管理を行う。この層では、個々のハードウェアに付属するシーケンサがその役割を果たす。コントロールレベルでは、個々のハードウェアが持つコントローラが対象としている状態を計測して制御する。この層では、ハ

ードウェアに付属するコントローラがその役割を果たす。ただし、すべてのハードウェアがタスクレベルとコントロールレベルに明確に区別されるわけではない。また、この階層はシステムの運用を管理する単位時間の違いでもある。プランニング&スケジューリングレベルでは、数時間から数日単位でタスクの管理を行う。タスクレベルでは、数秒から数分単位で事象の管理を行う。コントロールレベルでは、数ミリ秒から数秒単位で状態の管理を行う。

さて、Fig.1の左図のように3層が統合された階層制御ソフトウェアを開発できれば理想的であるが、現状の制御用計算機システムは、マニュアル操作を前提とした伝統的な監視制御システムであるため、そのような階層制御ソフトウェアの開発は難しい。そこで、Fig.1の右図（現実的な階層）のような階層制御ソフトウェアを開発する。右図のプランニング&スケジューリングレベルはタスクレベルとコントロールレベルの2層と統合されたものではなく、オペレータの運用を支援するためのソフトウェアである。つまり、作成されたスケジュールの実行にはオペレータによる操作を必要とする。

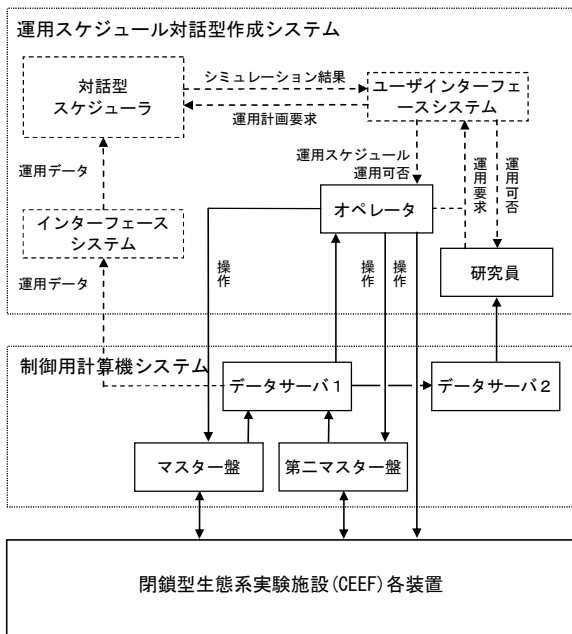


Fig.2 Expanded control computer system of the CEEF

Fig.1の右図に示した制御用計算機システムの概念を CEEF 制御用計算機システムに適用した構成を Fig.2 に示す。コントロールレベルとタスクレベルが CEEF 各装置と現在の制御用計算機システムに相当し、スケジューリング&プランニングレベルが新たに開発する運用スケジュール対話型作成システムに相当する。Fig.2の点線部分が今後開発される部分である。運用スケジュール対話型作成システムにより作成された運用スケジュールに従って、オペレータはマスター盤、第二マスター盤、各装置を操作する。

### 3. 運用スケジュール対話型作成システムの設計

運用スケジュール対話型作成システムでの情報の流れと意思決定を Fig.3 に示す。これは対話型スケジューラとオペレータか

らなる。オペレータは対話型スケジューラを利用して実験開始前に実験計画に基づいた運用スケジュールを作成し、その結果を確認する。また、実験開始後に実験計画の変更や機器の異常が起こった場合には運用データを基に運用スケジュールを再作成し、その結果を確認する。突然の実験計画の変更が生じた場合にも既存のスケジュールを変更する形で、即座に新しいスケジュールを再作成できる。作成された運用スケジュールは、オペレータの操作により実行される。このスケジューリングの方法には、すべてのデータが最初から与えられていない動的問題に向き、かつリアルタイム処理に向いているシミュレーション・スケジューリングを採用する。

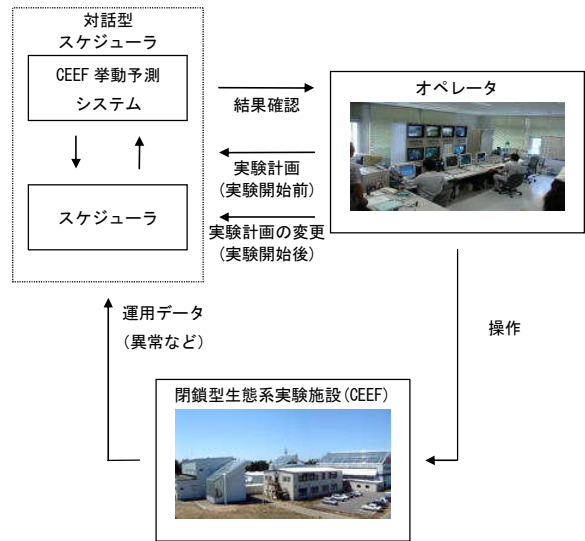


Fig.3 Operation schedule interactive generation system

## 4. スケジューリングの方法

### シミュレーション・スケジューリング

シミュレーション・スケジューリングは、優先規則を用いて各機械で生じている待ち行列中のタスクを評価し、最も評価値の高い機械に割付ける手続きを繰り返してスケジュールを作成する。このとき用いられる優先規則をディスパッチング・ルールという。シミュレーションには、時間軸の順方向にタスクの割付を実行するフォワード・シミュレーションを用いる。

### ディスパッチング・ルール

ディスパッチング・ルールには、割付可能なタスクの中から処理時間の最も短いものを選択する最短処理時間(Shortest Processing Time : SPT)を採用する。しかしながら、本来、人間の生命を維持するための物質循環を実現するという CEEF の目的からは、より適切な他のディスパッチング・ルールが存在するはずである。これについては結論で議論する。

### スケジューリング・アルゴリズム

スケジューリングは、様々な制約が複雑に絡み合う状況で実行可能な、かつできるだけ最適解に近い答えを求める問題である。複数の制約が複雑に絡み合う中で、ある制約の違反を解消しようとする関係する他の制約が新たに違反する場合がある。

このようなスケジューリング問題を解くアルゴリズムとして西岡<sup>4)</sup>が開発したペナルティ伝播ネットワークを用いる。これは現時点で違反している制約を探し、その違反制約のペナルティ量を、近隣の制約へ伝播させながら、徐々に全体としてのペナルティ違反量合計を減らしていく手法である。わずかな違反制約を修正するために、あらためてスケジューリングをやり直す必要がない。

このスケジューリング問題を定式化すると次のようになる。目的関数は制約違反ペナルティの合計値の最小化、決定変数は各作業の開始時刻や終了時刻などの事象時刻である。そして制約条件は処理時間や先行制約などの制約からなる。

$$\min \sum_{\forall i, \forall j \in M} (\alpha_{i,j} + \lambda_{i,j} \beta_{i,j}) \quad (1)$$

$$\text{subject to } t_i - t_j \geq d_{i,j} \quad \forall i, \forall j \in M \quad (2)$$

$$t_i = c_i \quad \forall i \in E^{fix} \quad (3)$$

ここで  $i, j$  は事象番号、 $t$  は事象時刻、 $c, d$  は定数、 $M$  は制約条件の集合、 $E^{fix}$  は固定事象の集合、 $\alpha$  は制約違反時に発生するペナルティ、 $\beta$  は違反量に応じて発生するペナルティ、そして  $\lambda_{i,j} = d_{i,j} + t_j - t_i > 0$  である。

### スケジューリング問題の記述

運用スケジュール対話型作成システムを開発するために Planning and Scheduling Language (PSL)<sup>4)</sup>を利用してスケジューリング問題を記述する。PSL は、生産スケジューリングの汎用言語であり、宣言的な記述のみで大規模で複雑な問題を表現できる。

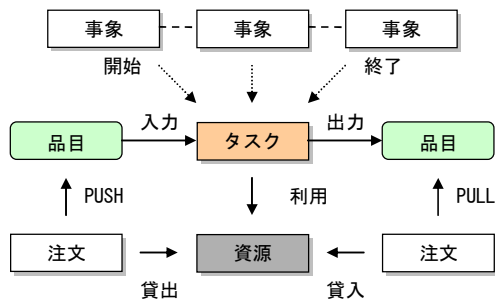


Fig.4 Relationships among elements in PSL

PSL の基本要素の関係を Fig.4 に示す。PSL では、スケジューリング問題をタスク、事象、品目、資源、注文の基本要素で表す。タスクはスケジュールを構成する要素で、ある時間幅を持った意味のあるまとまりである。事象は時間幅を持たない一時点の出来事、操作、変化である。品目は作られる側のモノ、例えば、製品、部品、材料である。資源は作る側のモノ、例えば、機械、作業員である。注文はある時点において品目を一定数量要求することである。また、品目は在庫量という属性を、資源は負荷量という属性を持つ。そして、タスクと事象の関係、タスクと品目の関係、タスクと資源の関係、タスクと時間の関係、

品目と注文の関係、資源と注文の関係を記述する。さらに、タスクに対して先行制約（共通の品目を介して関係付けられる2つのタスクや事象の間の時間的な制約）、品目に対して在庫制約、資源に対して切替制約（共通の資源を介して関係付けられる2つのタスクの間の時間的な制約）、負荷制約、状態制約を記述する。

### 5. CEEF 気体循環システムの例

先に示したスケジューリングの方法を利用して運用スケジュール対話型作成システムを開発する。ここでは、まず本格的な開発の前に、本手法を CEEF 気体循環システムに適用した場合についてシミュレーションを行い、その課題について検討する。シミュレーションは、西岡が開発したスケジューラ APSTOMIZER<sup>4)</sup>と MS-Excel を用いて行われた。

シミュレーションで用いた CEEF 気体循環システムを Fig.5 に示す。このシステムは動物飼育・居住モジュール、A,B,C,F の4つの植物栽培モジュール、O<sub>2</sub>タンク、CO<sub>2</sub>タンク、廃棄物処理装置、CO<sub>2</sub>分離装置 H、CO<sub>2</sub>輸送装置、CO<sub>2</sub>分離装置 P、O<sub>2</sub>分離装置、O<sub>2</sub>輸送装置からなる。ただし、O<sub>2</sub>タンク、CO<sub>2</sub>タンクの構成は複数あるタンクを1つにまとめてある。モジュールの仕様と環境条件を Table 1 に示す。動物飼育・居住モジュールの容積は 340m<sup>3</sup>、その環境は O<sub>2</sub>濃度が Target 20.3%、High 23.5%、Low 19.5%、CO<sub>2</sub>濃度が High 5000 μLL<sup>-1</sup>以下である。植物栽培モジュールの容積は A,B,C のそれぞれが 146.3 m<sup>3</sup>、F が 239 m<sup>3</sup>、作業室が 332.2 m<sup>3</sup>、その環境は O<sub>2</sub>濃度が Target 20.3%、High 23.5%、Low 19.5%、CO<sub>2</sub>濃度が明期 700±70μLL<sup>-1</sup>、暗期 1500 μLL<sup>-1</sup>以下である。

Table 1 Specification and environmental conditions of modules

動物飼育・居住モジュール	容積	340m <sup>3</sup> (居住区、動物飼育区、連絡通路)
	O <sub>2</sub> 濃度	Target 20.3%, High 23.5% Low 19.5%
	CO <sub>2</sub> 濃度	High 5000 μLL <sup>-1</sup> 以下
植物栽培モジュール	容積	146.3 m <sup>3</sup> (A,B,C) 239 m <sup>3</sup> (F) 332.2 m <sup>3</sup> (作業室)
	O <sub>2</sub> 濃度	Target 20.3% High 23.5% Low 19.5%
	CO <sub>2</sub> 濃度	明期 700±70μLL <sup>-1</sup> 暗期 1500 μLL <sup>-1</sup> 以下

PSL を用いてこのシステムのスケジューリング問題を記述する。まずタスクと品目を Fig.5 に示すように定義する。さらに在庫量、在庫制約、事象、先行制約、資源、注文を定義する。スケジューリング問題の記述は在庫量 10 行、在庫制約 10 行、タスク 25 行、事象 2 行、先行制約 8 行、品目 38 行、資源 13 行、注文 36 行のステートメントからなる。これを Fig.6 に示すように Excel の Worksheet 上に入力し、VBA で書かれたプログラム

により PSL ファイルに変換する。この PSL ファイルを APSTOMIZER で読み込み、制約条件をなるべく満たすようなタスクの割付を行う。

このときのシミュレーション設定を Table 2 に示す。居住区で 2 人（就寝は 0 時から 6 時まで）の人間が生活し、イネとダイズを栽培して食料を生産する。植物栽培モジュール A でイネ（明期は 0 時から 14 時まで）、B でイネ（明期は 4 時から 18 時まで）、C でダイズ（明期は 8 時から 22 時まで）を栽培し、F では何も栽培しない。

この設定に基づいて、APSTOMIZER を利用して 1 日間のスケジューリングを行った結果を Fig.7 に示す。これは制約条件の違反が発生した場合、計画作成者が APSTOMIZER の画面上でタスクの入れ替えを行った後の結果である。このガントチャートは、廃棄物処理装置、CO<sub>2</sub> 分離装置 H、CO<sub>2</sub> 輸送装置、CO<sub>2</sub> 分離装置 P、O<sub>2</sub> 分離装置、O<sub>2</sub> 輸送装置の運用スケジュールを示す。図中の A,B,C はその装置が接続している植物栽培モジュールを表す。

次に、このときの品目の状態量の変動、つまり、動物飼育・居住モジュールの CO<sub>2</sub> 濃度および O<sub>2</sub> 濃度、植物栽培モジュール A,B,C の CO<sub>2</sub> 濃度および O<sub>2</sub> 濃度、CO<sub>2</sub> タンク、O<sub>2</sub> タンクの状態量の変動を Fig.8 に示す。植物栽培モジュールの CO<sub>2</sub> 濃度を除く状態量が制約条件を満たしている。CO<sub>2</sub> 濃度を範囲内に保てなかったのはプランニング&スケジューリングレベルでは、1 時間毎の ON/OFF のみを判断しているためである。実際の運用ではコントロールレベルで PID 制御が用いられるので、流量の調整によって設定された範囲内へ状態量の制御が可能である。

Table 2 Setup values for the simulation

人間	2 人, CO <sub>2</sub> : 1402.6 g/day, O <sub>2</sub> : 1077.4 g/day 就寝は 0 時から 6 時まで、代謝は活動時の 2/3 になる
植物	植物栽培モジュール A, B イネ 442.0g/day 明期(14h) CO <sub>2</sub> : 1884.1 g/day, O <sub>2</sub> : 1454.4 g/day 暗期(10h) CO <sub>2</sub> : 198.7 g/day, O <sub>2</sub> : 164.5 g/day 植物栽培モジュール C ダイズ 194.0g/day 明期(14h) CO <sub>2</sub> : 992.7 g/day, O <sub>2</sub> : 897.0 g/day 暗期(10h) CO <sub>2</sub> : 118.0 g/day, O <sub>2</sub> : 114.7 g/day 植物栽培モジュール F 栽培なし
在庫量	CO <sub>2</sub> タンク :5000g, O <sub>2</sub> タンク :5000g 動物飼育・居住モジュール O <sub>2</sub> :84550g, CO <sub>2</sub> :125g 植物栽培モジュール A, B, C O <sub>2</sub> :36435g, CO <sub>2</sub> :125g
在庫制約	CO <sub>2</sub> タンク : Min 0, Max 10000 g O <sub>2</sub> タンク : Min 0, Max 10000 g 動物飼育・居住モジュール O <sub>2</sub> : Min 81218 g, Max 97878 g, CO <sub>2</sub> : Min 0 g, Max 2083 g 植物栽培モジュール A,B,C O <sub>2</sub> : Min 34947 g, Max 42116 g, CO <sub>2</sub> : Min 0 g, Max 896 g
負荷制約	CO <sub>2</sub> 分離装置 H : 58.4 g/h CO <sub>2</sub> 分離装置 P : 21.5 g/h O <sub>2</sub> 分離装置 : 423 g/8h CO <sub>2</sub> 輸送装置 : 942.1 g/12h O <sub>2</sub> 輸送装置 : 44.9 g/h

\* 気体は標準大気での質量に変換されている

## 6. 結論

プランニング&スケジューリングレベル、タスクレベル、コントロールレベルの 3 層からなる階層制御ソフトウェアの開発について述べた。そのうちプランニング&スケジューリングレベルの運用スケジュール対話型作成システムを開発するために、PSL を用いて CEEF 気体循環システムの運用スケジュールリング問題を記述した。その結果、制約条件、ディスパッチング・ルール、ソフトウェアの開発、アルゴリズムの開発について次のような課題が明らかになった。

### 制約条件

PSL を用いてスケジューリング問題を記述するためには CEEF の各装置の運用特性を把握し、運用に関する制約条件を明確にする必要がある。制約条件には、各工程の処理時間、工程間の先行関係、工程間の同時開始および同時終了制約、工程間の同一設備上での連続制約がある。例えば、CEEF 気体循環システムの場合、植物栽培モジュールの O<sub>2</sub> 分離装置と CO<sub>2</sub> 分離装置を同じモジュールに接続した状態でしか運転できない。

CEEF の各装置は今までに何度となく改修され、その都度仕様の変更されてきた。これらの各装置について現在の正確な仕様を調査中である。この調査により CEEF 全体の装置の運用に関する制約を記述することが可能になる。

### ディスパッチング・ルールの作成

本シミュレーションではディスパッチング・ルールに最短処理時間を用いた。しかし、人間の生命を維持する物質循環を実現するという CEEF の運用目的を考えると、ディスパッチング・ルールは最短処理時間ではない。実際の開発では、物質循環の変動量を平準化するようなスケジュールを作成するディスパッチング・ルールが望ましい。一般的に、タンク容量は間欠的な受入れ/払出しの時間間隔がどれだけ長くなるかによって決まる。間隔が長くなるということは 1 回当たりの受入れ/払出しの量が多くなることを意味する。つまり、その時間間隔が短くなれば容量は小さくて済むことになる。そして最も時間間隔が長く、物質循環システム全体の中で運用の自由度の最も低い律速工程は廃棄物処理装置である。特に、水循環では律速工程とはならないが、気体循環では律速工程となる。よって廃棄物処理装置の運転スケジュールを一番先に固定した上で、各タンクの入力/出力の時間間隔を短くするようなディスパッチング・ルールをその他の装置に対して適用する。

### ソフトウェアの開発

本論文では、CEEF 気体循環システムのスケジューリング問題を、PSL を用いて記述し、APSTOMIZER を利用して運用スケジュールを求めた。PSL は、同じ操作の繰り返しについての記述、および品目の状態制約についての記述が十分ではなかった。そのため同じ記述を繰り返す必要があったり、設定された状態量によりタスクの割付けを決めたりすることができなかった。さらに今回用いた APSTOMIZER は研究用のスケジューリングツールであるため CEEF の運用スケジュール対話型作成システ

ムの実際の開発では利用できないだろう。このためこれに変わる同様のスケジューリングツールを開発する必要がある。このときにPSLのみでは十分に記述できなかった事項について対処する必要がある。

### アルゴリズムの開発

現在、PSLを用いたスケジューリング問題の記述から得た知見を基に、マルチエージェント強化学習を利用した新しいスケジューリング・アルゴリズムを開発中である。このアルゴリズムの開発によって受入れ/払出しの時間間隔を短くするようなスケジュールの作成が可能になる。さらに、この新しいアルゴリズムは状況の変化に対応して新たなスケジュールを自動的に学習することになるだろう。この論述については将来の論文に譲る。

### 参考文献

1. Y. Tako, T. Tani, R. Arai and K. Nitta, Estimation of Flows of Carbon and Oxygen in the CEEF System Based on Data Collected in a Stable Phase of Sequential Crop Cultivation Lasting More than 100 days, SAE Technical Paper Series 2005-01-3108, 2005
2. H. Miyajima, T. Hirosaki and Y. Ishikawa, Application of Intelligent Control to Material Circulation in Advanced Life Support Systems, SAE Technical Paper Series 2005-01-2966, 2005
3. 黒田充 他, 生産スケジューリング, 朝倉書店, 2002
4. <http://www.img.k Hosei.ac.jp/pslib/Default.htm>

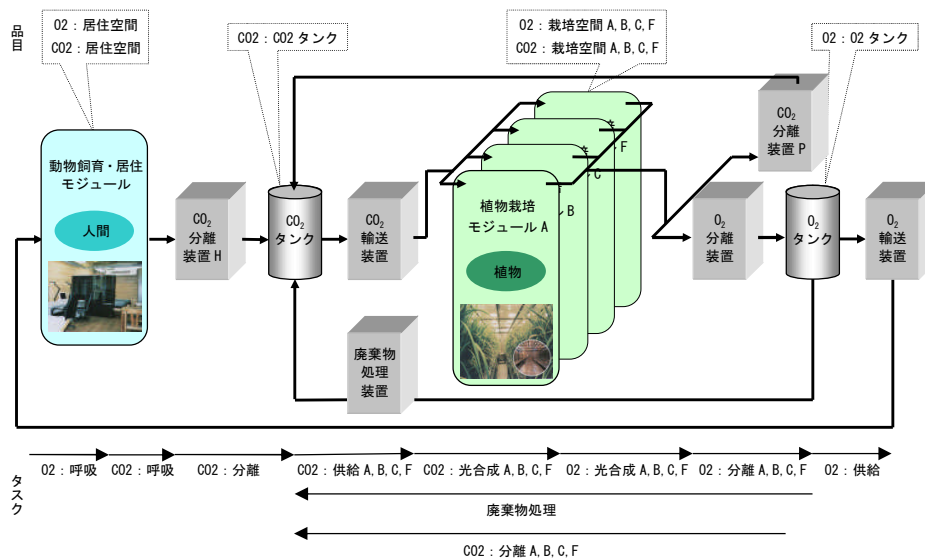


Fig.5 Gas circulation system in CEEF

問題	CEEF	210	
単位時間	60		
集計単位	60		
計画範囲開始	2006	7 1	
基準時刻	2006	7 1	
計画範囲終了	2006	7 2	
在庫量	O2: 居住空間	84590	
在庫量	CO2: 居住空間	125	
在庫量	O2: 栽培空間 A	36435	
在庫量	O2: 栽培空間 B	36435	
在庫量	O2: 栽培空間 C	36435	
在庫量	CO2: 栽培空間 A	125	
在庫量	CO2: 栽培空間 B	125	
在庫量	CO2: 栽培空間 C	125	
在庫量	O2: CO2タンク	5000	
在庫量	CO2: CO2タンク	5000	
在庫制約	O2: 居住空間	81218 97878	
在庫制約	CO2: 居住空間	0 2083	
在庫制約	O2: 栽培空間 A	34947 42116	
在庫制約	O2: 栽培空間 B	34947 42116	
在庫制約	O2: 栽培空間 C	34947 42116	
在庫制約	CO2: 栽培空間 A	0 896	
在庫制約	CO2: 栽培空間 B	0 896	
在庫制約	CO2: 栽培空間 C	0 896	
在庫制約	O2: O2タンク	0 10000	
在庫制約	CO2: CO2タンク	0 10000	
%	作業名	工程名 時間 h %	
作業	CO2: 呼吸 S	呼吸 6 一定 %	
作業	CO2: 呼吸 A	呼吸 18 一定 %	
作業	CO2: 分離	工程 1 1 一定 %	
作業	CO2: 供給 A	工程 3 2 一定 %	
作業	CO2: 供給 B	工程 3 2 一定 %	
作業	CO2: 供給 C	工程 3 2 一定 %	
作業	CO2: 分離 A	光合成 A 1 一定 %	
作業	CO2: 光合成 C	光合成 C 14 一定 %	
%	前作業	後作業 タイプ 時刻	
先行制約	CO2: 光合成 A	CO2: 分離 A	ESR 6
先行制約	CO2: 光合成 B	CO2: 分離 B	ESR 6
先行制約	CO2: 光合成 C	CO2: 分離 C	ESR 6
先行制約	O2: 分離 A	CO2: 分離 A	SSS
先行制約	O2: 分離 B	CO2: 分離 B	SSS
先行制約	O2: 分離 C	CO2: 分離 C	SSS
先行制約	CO2: 供給 A	CO2: 供給 B	SS
先行制約	CO2: 供給 B	CO2: 供給 C	SS
先行制約	CO2: 呼吸 S	CO2: 呼吸 A	SS
先行制約	O2: 呼吸 S	O2: 呼吸 A	SS
%	品目名	作業名 g/h %	
品目	CO2: 居住空間	CO2: 呼吸 S	255 C
品目	CO2: 居住空間	CO2: 呼吸 A	1147.6 C
品目	CO2: 居住空間	CO2: 分離	-58.4 D
品目	CO2: CO2タンク	CO2: 分離	-58.4 D
品目	CO2: CO2タンク	CO2: 供給 A	-628 C
品目	CO2: CO2タンク	CO2: 供給 B	-628 C
品目	CO2: CO2タンク	CO2: 供給 C	-330.9 C
品目	CO2: CO2タンク	CO2: 分離 A	198.7 D
品目	CO2: CO2タンク	CO2: 分離 B	198.7 D
品目	CO2: CO2タンク	CO2: 分離 C	118 D
%	資源名	作業名 %	
資源	CO2分離装置 H	CO2: 分離	
資源	CO2供給装置	CO2: 供給 A	
資源	CO2供給装置	CO2: 供給 B	
資源	CO2供給装置	CO2: 供給 C	
資源	CO2分離装置 P	CO2: 分離 A	
資源	CO2分離装置 P	CO2: 分離 B	
資源	CO2分離装置 P	CO2: 分離 C	

Fig.6 Schedule description using PSL

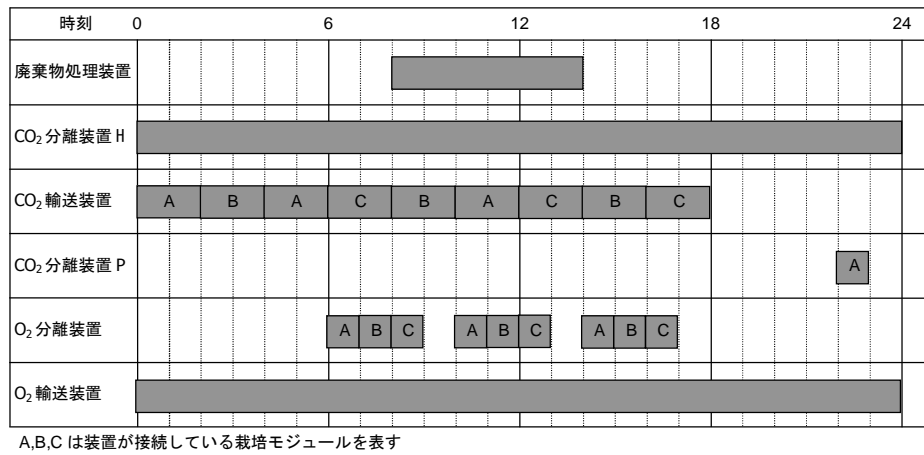
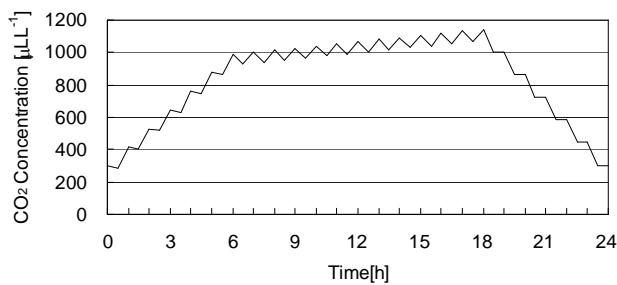
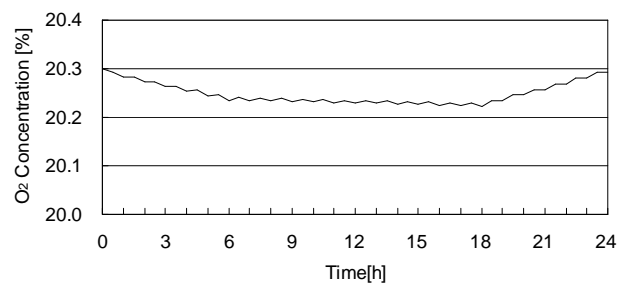


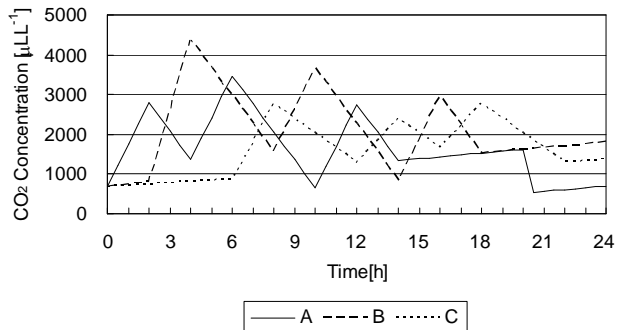
Fig.7 Gantt Chart of CEEF gas circulation system



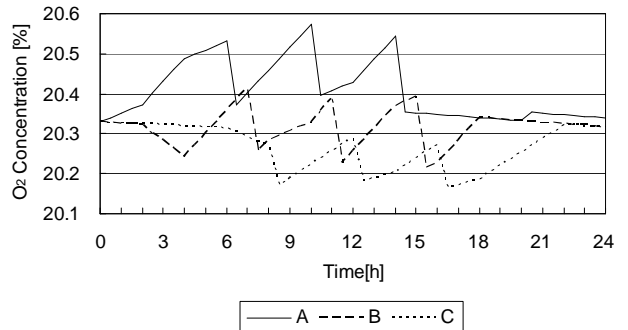
(a) Change of carbon dioxide concentration in Animal Breeding and Habitation Module



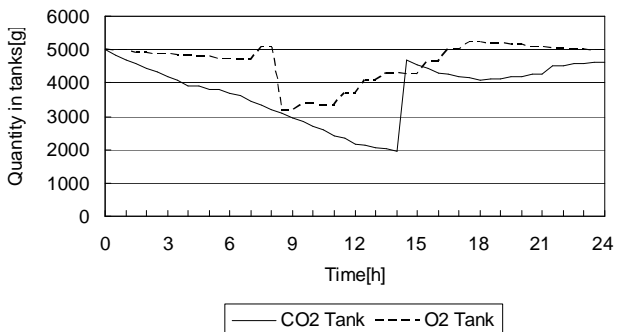
(b) Change of oxygen concentration in Animal Breeding and Habitation Module



(c) Change of carbon dioxide concentration in Plant Cultivation Module



(d) Change of oxygen concentration in Plant Cultivation Module



(e) Change of quantity in tanks

Fig.8 Change of quantitative state in CEEF gas circulation system